

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE
CUENCA**



CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ

**TESIS DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO AUTOMOTRIZ**

**“PROPUESTA DE MEJORA PARA EL MANTENIMIENTO DEL
EQUIPO PESADO DE LA CONSTRUCTORA COANDES S.A.
BASADO EN UN ANÁLISIS DEL ACEITE USADO EN LOS
MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA DIÉSEL”**

AUTOR

DAVID ALEJANDRO ARÉVALO AVALOS

DIRECTOR

ING. CRISTIAN GARCÍA

CUENCA, 10 DE MARZO DEL 2015

DECLARATORIA

El presente trabajo de grado es original y está basado en la investigación y/o adaptación tecnológica establecida en la Carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana. En tal virtud los fundamentos técnicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad del autor.

A través de la presente declaración cedo los derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Universidad Politécnica Salesiana, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la Normativa Institucional Vigente.

Cuenca, Marzo 10 del 2015

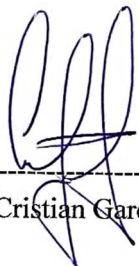


David Alejandro Arévalo Avalos
C.I. 0604195248

CERTIFICADO

Certifico que el presente proyecto de tesis denominado: “PROPUESTA DE MEJORA PARA EL MANTENIMIENTO DEL EQUIPO PESADO DE LA CONSTRUCTORA COANDES S.A. BASADO EN UN ANÁLISIS DEL ACEITE USADO EN LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA DIÉSEL”; ha sido desarrollada en su totalidad por el señor David Alejandro Arévalo Avalos, la cual ha sido asesorada y revisada por mi persona.

Atentamente,



Ing. Cristian García

AGRADECIMIENTO

A mis padres Dora y Víctor por su apoyo incondicional.

A mi amigo Diego por su colaboración valiosa.

Al Ing. Cristian García por su apoyo y comprensión.

A los docentes de la Universidad por sus conocimientos.

David

DEDICATORIA

A Dios por permitirme llegar hasta aquí.

A mi familia por todo el apoyo que me han brindado.

A Joana Parra por su tolerancia y cariño.

David

RESUMEN

En el presente documento se desarrolla una propuesta de mejora desde un enfoque proactivo para el proceso de mantenimiento de la maquinaria pesada de la empresa constructora COANDES Cía. Ltda. basado en la implementación de la herramienta del análisis de aceite usado en los motores diésel.

El punto de partida es la realización del fundamento teórico sobre el funcionamiento de los motores de combustión interna diésel y su sistema de lubricación para conocer las características de los elementos que se estudiarán. Se establece también conocimientos teóricos sobre el análisis de aceite y la tribología de lubricantes que permitirán definir el marco metodológico sobre el cual se implantará los posteriores análisis del lubricante de los motores diésel estudiados. Además se realiza una introducción hacia el mantenimiento proactivo de motores diésel que permite dirigir el estudio hacia un objetivo final como es la mejora del proceso de mantenimiento.

Siendo el análisis de aceite un recurso valioso pero limitado en el número de equipos en que puede aplicarse, se verifica la necesidad de definir los equipos más adecuados sobre los cuales conviene aplicar esta herramienta. Con este fin se realizó un estudio de criticidad de la maquinaria pesada de la empresa, este estudio es un proceso que permite identificar y jerarquizar a los elementos más importantes dentro de la flota; de este estudio se desprende la identificación de los equipos críticos y porcentaje de criticidad que ellos poseen.

Una vez definidos los equipos críticos, se aplicó sobre ellos el análisis de aceite (AA) usado en los motores diésel. A los resultados de estos análisis se los evaluó mediante la técnica SACODE, la cual permite una correcta interpretación de los resultados al dividir los parámetros del AA en tres categorías salud, contaminación y desgaste. Tras la evaluación de los resultados en función de los límites críticos se emite un diagnóstico de la condición operativa de los motores de las máquinas estudiadas.

Finalmente, se propone la evolución del proceso de mantenimiento de la compañía COANDES hacia un enfoque proactivo, estableciendo procedimientos puntuales de mejora desprendidos del estudio de criticidad y del estudio de aceite usado. El más importante de estos procedimientos es el modelo de diagnóstico de causas y efectos de las fallas interpretadas de los análisis de aceite; este modelo usa un software de interpretación de resultados que junto a un soporte documental permiten el diagnóstico de problemas en los motores diésel usando el análisis de aceite.

1. Fundamentación teórica del funcionamiento, lubricación y mantenimiento de motores diésel usados en maquinaria pesada.	1
1.1. Generalidades	
1.1.1. Motor Térmico	1
1.1.1.1. Motores de combustión interna alternativos	1
1.1.1.2. Motor Diésel	1
1.1.2. Partes principales del motor diésel	1
1.1.2.1. Bloque Motor	1
1.1.2.2. Culata	1
1.1.2.3. Cigüeñal	2
1.1.2.4. Biela	2
1.1.2.5. Pistón	3
1.1.2.6. Anillos	3
1.1.2.7. Cojinetes	4
1.1.2.8. Válvulas	4
1.1.2.9. Árbol de levas	4
1.1.2.10. Carter	4
1.1.2.11. Turbocargador	5
1.1.2.12. Múltiples de admisión y escape	5
1.2. Funcionamiento del motor diésel	6
1.2.1. Ciclo de Funcionamiento	6
1.2.1.1. Carrera de Admisión	6
1.2.1.2. Carrera de Compresión	7
1.2.1.3. Carrera de expansión	7
1.2.1.4. Carrera de Escape	8
1.3. Sistemas de lubricación en motores diésel	8
1.3.1. Lubricación a Presión	8
1.3.1.1. Componentes	9
1.3.1.2. Funcionamiento	9
1.4. Tribología de motores	10
1.4.1. Regímenes de lubricación	10
1.4.1.1. Lubricación hidrodinámica	11

1.4.1.2.	Lubricante límite.....	11
1.4.2.	Fallas asociadas a la lubricación.....	11
1.4.2.1.	Falla por Desgaste.....	13
1.4.2.2.	Falla por fatiga superficial.....	13
1.4.2.3.	Corrosión.....	14
1.4.2.4.	Erosión.....	14
1.4.2.5.	Cavitación.....	15
1.5.	Aceite lubricante para motores diésel.....	15
1.5.1.	Composición.....	16
1.5.1.1.	Aceites Base.....	16
1.5.1.2.	Aditivos.....	16
1.5.2.	Clasificación de aceites de motor diésel.....	16
1.5.3.	Propiedades principales de los aceites lubricantes.....	19
1.5.3.1.	Viscosidad e índice de viscosidad.....	19
1.5.3.2.	Basicidad y acidez.....	20
1.5.3.3.	Detergencia y dispersión.....	20
1.5.3.4.	Oxidación y nitración.....	21
1.5.3.5.	Aditivos anti desgaste.....	21
1.6.	Mantenimiento de motores	21
1.6.1.	Generalidades del mantenimiento.....	21
1.6.2.	Estrategias de mantenimiento.....	22
1.6.2.1.	Mantenimiento correctivo o reactivo.....	23
1.6.2.2.	Mantenimiento preventivo.....	23
1.6.2.3.	Mantenimiento predictivo.....	23
1.6.3.	Mantenimiento proactivo.....	23
1.6.3.1.	Mantenimiento proactivo de motores diésel.....	24
1.6.3.2.	Objetivo del mantenimiento proactivo.....	24
2.	Estudio de criticidad de la maquinaria pesada de COANDES	25
2.1.	Descripción general de la empresa	25
2.2.	Descripción de la maquinaria.....	25
2.2.1.	Categorización de la maquinaria pesada.....	26
2.3.	Análisis de criticidad.....	29
2.3.1.	Metodología de análisis.....	30
2.3.1.1.	Consecuencias.....	30

2.3.1.2.	Frecuencia de fallas.....	32
2.3.1.3.	Matriz de criticidad.....	32
2.3.2.	Criterio de evaluación de parámetros.....	33
2.3.3.	Formatos de evaluación de criticidad.....	33
2.3.4.	Matriz de criticidad de equipos COANDES.....	36
2.3.4.1.	Maquinaria general.....	36
2.3.4.2.	Equipo mayor.....	38
2.3.5.	Resultados del análisis de criticidad.....	39
2.3.5.1.	Cantidad maquinas por nivel de criticidad.....	39
2.3.5.2.	Impacto de la maquinaria de alta criticidad.....	39
2.4.	Equipos críticos.....	43
2.4.1.	Cargadora de túnel Fambition.....	43
2.4.1.1.	Descripción.....	43
2.4.1.2.	Ficha técnica de máquina.....	44
2.4.1.3.	Estado operativo.....	45
2.4.2.	Dumper Terex.....	45
2.4.2.1.	Descripción.....	45
2.4.2.2.	Ficha técnica de máquina.....	46
2.4.2.3.	Estado operativo.....	47
2.4.3.	Compresor Doosan.....	47
2.4.3.1.	Descripción.....	47
2.4.3.2.	Ficha técnica de máquina.....	48
2.4.3.3.	Estado operativo.....	49
2.4.4.	Minicargadora Hyundai.....	49
2.4.4.1.	Descripción.....	49
2.4.4.2.	Ficha técnica de máquina.....	50
2.4.4.3.	Estado operativo.....	51
3.	Análisis del aceite usado en base a la metodología SACODE.....	52
3.1.	Análisis de Aceite.....	52
3.2.	Técnica Sacode.....	52
3.2.1.	Metodología.....	53
3.2.2.	Normalización.....	53
3.2.3.	Identificación de la máquina.....	54
3.2.4.	Definir objetivos y límites condenatorios.....	54

3.2.4.1.	Línea base.....	55
3.2.4.2.	Limite crítico.....	55
3.2.5.	Parámetros de salud (Sa).....	55
3.2.5.1.	Numero básico total.....	55
3.2.5.2.	Viscosidad.....	55
3.2.5.3.	Oxidación y nitración.....	56
3.2.5.4.	Sulfatación.....	57
3.2.6.	Parámetros de contaminación (Co).....	57
3.2.6.1.	Agua.....	57
3.2.6.2.	Silicio (Si).....	58
3.2.7.	Parámetros de desgaste (De).....	59
3.2.7.1.	Metales de desgaste.....	59
3.2.7.2.	Hierro (Fe).....	60
3.2.7.3.	Cromo (Cr) y Níquel (Ni).....	60
3.2.7.4.	Plomo (Pb).....	61
3.2.7.5.	Cobre (Cu).....	61
3.2.7.6.	Estaño (Sn).....	63
3.2.7.7.	Aluminio (Al).....	63
3.2.8.	Diagnostico general de la muestra.....	63
3.3.	Aplicación del análisis de aceite.....	63
3.3.1.	Identificación de la maquinaria.....	64
3.3.2.	Descripción del lubricante utilizado.....	64
3.3.3.	Definición de límites condenatorios críticos a aplicarse en el análisis de aceite	65
3.3.3.1.	Viscosidad.....	66
3.3.3.2.	TBN.....	67
3.3.3.3.	Oxidación, nitración y sulfatación.....	68
3.3.3.4.	Silicio.....	68
3.3.3.5.	Agua.....	68
3.3.3.6.	Hierro.....	68
3.3.3.7.	Cobre, Aluminio, Plomo, Estaño, Níquel y Cromo.....	69
3.3.3.8.	Resumen limites críticos.....	69
3.4.	Evaluación de resultados del análisis de aceite.....	70
3.4.1.	Periodo de muestreo y frecuencia de muestreo.....	70

3.4.2. Cargadora de Túnel	70
3.4.2.1. Salud.....	71
3.4.2.2. Contaminación.....	74
3.4.2.3. Parámetros de Desgaste.....	75
3.4.2.4. Análisis de resultados.....	78
3.4.3. Dumper.....	79
3.4.3.1. Salud.....	80
3.4.3.2. Contaminación.....	82
3.4.3.3. Parámetros de Desgaste.....	83
3.4.3.4. Análisis de resultados.....	86
3.4.4. Compresor.....	87
3.4.4.1. Salud.....	88
3.4.4.2. Contaminación.....	89
3.4.4.3. Parámetros de Desgaste.....	91
3.4.4.4. Análisis de resultados.....	94
3.4.5. Minicargadora	95
3.4.5.1. Salud.....	96
3.4.5.2. Contaminación.....	97
3.4.5.3. Parámetros de Desgaste.....	99
3.4.5.4. Análisis de resultados.....	101
4. Propuesta de mejora proactiva del mantenimiento	103
4.1. Análisis del estado actual del mantenimiento	104
4.1.1. Descripción del mantenimiento actual aplicado.....	104
4.1.2. Función administrativa.....	105
4.1.3. Función técnica.....	107
4.2. Procesos puntuales de mejora del mantenimiento	109
4.2.1. Registro y análisis permanente de la criticidad de maquinaria.....	110
4.2.2. Mejora de los sistemas de filtración de aceite y aire.....	111
4.2.2.1. Filtros de Aire.....	111
4.2.2.2. Filtros de Aceite.....	112
4.2.3. Uso de combustible de alta calidad.....	113
4.3. Modelo de diagnóstico de fallas fundamentado en el análisis de	
aceite	114
4.3.1. Implantación del análisis de aceite.....	116

4.3.1.1.	Selección de los equipos.....	116
4.3.1.2.	Toma de Muestras.....	116
4.3.2.	Interpretación de los resultados de los análisis de aceite mediante software.....	117
4.3.2.1.	Características del software.....	117
4.3.2.2.	Desarrollo del software.....	119
4.3.2.3.	Guía de uso del software.....	120
4.3.2.3.1.	Ingresar maquina nueva.....	120
4.3.2.3.2.	Ingreso limites nuevo aceite.....	122
4.3.2.3.3.	Ingresar análisis de aceite.....	123
4.3.2.3.4.	Histórico maquina.....	126
4.3.3.	Diagnóstico de Fallas.....	129
4.3.3.1.	Manual digital de diagnóstico de fallas de motores diésel....	129
4.3.3.1.1.	Diagnóstico de problemas en el bloque motor.....	129
4.3.3.1.2.	Diagnóstico de problemas en el sistema de lubricación.....	139
4.3.3.1.3.	Diagnóstico de problemas relacionados con la sobrealimentación.....	143
4.3.3.2.	Diagnóstico de causa y efecto de las fallas.....	144
4.3.4.	Aplicación del modelo.....	145
4.3.4.1.	Ejemplo tipo de aplicación del modelo.....	145
4.4.	Propuesta de recursos documentales técnicos para el	
	Mantenimiento.....	150
4.4.1.	Fichas de control de maquinaria.....	150
4.4.1.1.	Ficha de solicitud de trabajo.....	150
4.4.1.2.	Ficha de orden de repuestos.....	152
4.4.1.3.	Ficha historial de reparaciones.....	152
4.4.1.4.	Ficha de combustible.....	154
4.4.2.	Fichas guía de programación del mantenimiento.....	154
4.4.2.1.	Ficha guía 50 horas.....	154
4.4.2.2.	Ficha guía 100 horas.....	155
4.4.2.3.	Ficha guía 200 horas.....	155
4.4.2.4.	Ficha guía 500 horas.....	156
4.4.2.5.	Ficha guía 1000 horas.....	156

4.4.2.6. Ficha guía 2000 horas.....	157
Conclusiones.....	158
Bibliografía.....	160
Anexos.....	162

Índice de Anexos

ANEXO A1. Formato registro diario de maquinaria.....	162
ANEXO A2. Registro de mantenimiento de maquinaria.....	163
ANEXO A3. Formato registro de gastos.....	165
ANEXO A4. Check List. Estado operativo de la maquina.....	166
ANEXO A5. Especificaciones. Cargadora Fambition FAML2.....	167
ANEXO A6. Especificaciones. Motor Deutz F6L914.....	168
ANEXO A7. Especificaciones. Dumper Terex PT300.....	169
ANEXO A8. Especificaciones. Motor Kubota V2203M.....	170
ANEXO A9. Especificaciones. Compresor Doosan XP375WCU.....	171
ANEXO A10. Especificaciones. Minicargadora Hyundai MSL850.....	172
ANEXO A11. Especificaciones. Motor Kubota V3307-T.....	173
ANEXO B1. Limites Ursa Premium TDX SAE 15W40.....	174
ANEXO B2. Valores condenatorios de metales adoptadas por las casas fabricantes de motores.....	177
ANEXO B3. Propuesta de limites criticos para analisis de aceite con enfoque productivo. Widman Slr International.....	178
ANEXO B4. Primer análisis de aceite 13/08/2014.....	179
ANEXO B5. Segundo análisis de aceite 05/09/2014.....	180
ANEXO B6. Tercer análisis de aceite 28/10/2014.....	181
ANEXO B7. Cuarto análisis de aceite 10/12/2014.....	182
ANEXO B8. Quinto análisis de aceite 05/02/2015.....	184
ANEXO C1. Guía de instalación del programa análisis de aceite.....	185

Índice de Figuras.

1.1.	Bloque Motor.....	2
1.2.	Culata.....	2
1.3.	Cigüeñal.....	2
1.4.	Biela.....	3
1.5.	Pistón.....	3
1.6.	Anillos.....	3
1.7.	Cojinetes.....	4
1.8.	Válvula.....	4
1.9.	Árbol de Levas.....	4
1.10.	Carter.....	5
1.11.	Turbo.....	5
1.12.	Múltiples de Admisión y Escape.....	5
1.13.	Ciclo Diésel.....	6
1.14.	Carrera de Admisión.....	6
1.15.	Carrera de Compresión.....	7
1.16.	Carrera de Expansión.....	7
1.17.	Carrera de Escape.....	8
1.18.	Partes del sistema de lubricación.....	9
1.19.	Desgaste adhesivo.....	13
1.20.	Desgaste abrasivo.....	13
1.21.	Falla por fatiga superficial.....	14
1.22.	Corrosión.....	14
1.23.	Erosión.....	1
1.24.	Cavitación.....	15
1.25.	Clasificación SAE J300.	17
1.26.	Comportamiento de viscosidad de aceites Diésel a temperatura de régimen.....	19
1.27.	Nivel de TBN necesario según el nivel de azufre en el combustible.....	20
1.28.	Puntales del Mantenimiento.....	22
1.29.	Evolución del Mantenimiento.....	22
2.1.	Logotipo de la empresa COANDES.....	25

2.2.	Bases de la Confiabilidad Operacional.....	29
2.3.	Calculo de la criticidad de un equipo.....	30
2.4.	Matriz de criticidad.....	32
2.5.	Matriz de Criticidad Maquinaria General Coandes.....	36
2.6.	Matriz de Criticidad Equipo Mayor Coandes.....	38
2.7.	Número de equipos por nivel de criticidad.....	39
2.8.	Diagrama de Pareto. Criticidad de la maquinaria Pesada y Peso Real en la criticidad Global de los equipos de Alta Criticidad.....	42
3.1.	Esquema de Trabajo. Técnica SACODE.....	53
3.2.	Corrosión sobre cojinete debido a contaminación por agua.....	58
3.3.	Origen de las partículas metálicas por elemento en un motor.....	59
3.4.	Desgaste de cojinete por almacenamiento en aceites sucios.....	61
3.5.	Desgaste de cojinete por falta de viscosidad del aceite.....	62
3.6.	Desgaste de arandelas de empuje.....	62
3.7.	Desgaste de cojinete por falta de viscosidad del aceite	62
3.8.	Nivel de TBN necesario en el aceite nuevo y usados.....	67
3.9.	Viscosidad. Equipo 001.....	72
3.10.	TBN. Equipo 001.....	72
3.11.	Oxidación. Equipo 001.....	72
3.12.	Sulfatación. Equipo 001.....	73
3.13.	Nitración. Equipo 001.....	73
3.14.	Silicio. Equipo 001.....	74
3.15.	Hierro. Equipo 001.....	76
3.16.	Cobre. Equipo 001.....	76
3.17.	Plomo. Equipo 001.....	76
3.18.	Aluminio. Equipo 001.....	77
3.19.	Cromo. Equipo 001.....	77
3.20.	Níquel. Equipo 001.....	77
3.21.	Viscosidad. Equipo 134	80
3.22.	TBN. Equipo 134.....	81
3.23.	Oxidación. Equipo 134.....	81
3.24.	Sulfatación. Equipo 134.....	81
3.25.	Silicio. Equipo 134.....	82
3.26.	Cromo. Equipo 134.....	84

3.27. Cobre. Equipo 134.....	84
3.28. Aluminio. Equipo 134.....	84
3.29. Plomo. Equipo 134.....	85
3.30. Hierro. Equipo 134.....	85
3.31. Níquel. Equipo 134.....	85
3.32. Viscosidad. Equipo 709.....	88
3.33. TBN. Equipo 709.....	89
3.34. Silicio. Equipo 709.....	90
3.35. Cromo. Equipo 709.....	92
3.36. Cobre. Equipo 709.....	92
3.37. Aluminio. Equipo 709.....	92
3.38. Plomo. Equipo 709.....	93
3.39. Hierro. Equipo 709.....	93
3.40. Níquel. Equipo 709.....	93
3.41. Viscosidad. Equipo 971.....	96
3.42. TBN. Equipo 971.....	97
3.43. Silicio. Equipo 971.....	98
3.44. Cromo. Equipo 971.....	100
3.45. Aluminio. Equipo 971.....	100
3.46. Cobre. Equipo 971.....	100
3.47. Plomo. Equipo 971.....	101
3.48. Hierro. Equipo 971.....	101
3.49. Níquel. Equipo 971.....	101
4.1. Esquema de la propuesta de mejora del Mantenimiento.....	103
4.2. Clasificación de los procesos actuales del manejo de mantenimiento de la empresa COANDES.....	104
4.3. Organigrama. Superintendencia de Mantenimiento.....	105
4.4. Formato de solicitud de trabajo mecánico.....	108
4.5. Formato de parte diario de maquinaria.....	108
4.6. Formato de Análisis de Criticidad de equipos.....	110
4.7. Formato de Matriz de Criticidad.....	111
4.8. Evolución del mantenimiento propuesto.....	115
4.9. Esquema de pasos. Modelo de diagnóstico de fallas.....	115
4.10. Ventana Principal programa análisis de Aceite.....	120

4.11. Ventana para ingresar los datos de las maquinas a ser analizadas.....	121
4.12. Ventana de eliminación de datos de la maquinaria.....	121
4.13. Ventana para el ingreso de datos del aceite a utilizar.....	122
4.14. Ventana para eliminar los datos de Aceite.....	123
4.15. Ventana para el ingreso de datos para el análisis.....	123
4.16. Ventana de búsqueda de máquina y aceite.....	124
4.17. Ventana de ingreso de datos de Salud, Contaminación y Desgaste.....	125
4.18. Resultado del análisis de los datos ingresados.....	125
4.19. Ventana de detalles de los resultados de los análisis.....	126
4.20. Ventana de la opción Histórico de Máquina.....	127
4.21. Ventana de detalles del historial de las máquinas.....	128
4.22. Deformaciones del pistón a causa de las altas temperaturas.....	130
4.23. Rayado del pistón por falta de lubricación.....	130
4.24. Anillos quemados debido a depósitos de carbón.....	131
4.25. Rotura de anillo en el funcionamiento del motor.....	131
4.26. Erosión de la camisa por cavitación.....	132
4.27. Falla de la biela por su propia fractura.....	133
4.28. Falla en los cojinetes de biela por desgaste.....	133
4.29. Biela doblada por fuerzas externas.....	134
4.30. Desgaste normal del cojinete.....	134
4.31. Fisuras en la capa de recubrimiento del cojinete.....	135
4.32. Raspaduras superficie del cojinete a causa de elementos incrustados.....	135
4.33. Falla del cojinete por quemadura por falta de lubricación.....	136
4.34. Corrosión en las capas del cojinete.....	136
4.35. Desgaste del árbol de levas a causa del trabajo que realiza.....	137
4.36. Desgaste turbocompresor por uso en general.....	144
4.37. Diagrama de diagnóstico causas y efectos.....	144
4.38. Ejemplo de análisis de criticidad.....	145
4.39. Ejemplo de análisis de laboratorio.....	146
4.40. Ejemplo de resultados de análisis de aceite.....	147
4.41. Ejemplo de interpretación de análisis de aceite.....	148
4.42. Sección del manual de diagnóstico consultada para el ejemplo.....	149
4.43. Ejemplo de diagrama causa-efecto.....	149

Índice de Tablas.

1.1.	Tipos genéricos de desgaste por parte de motor.....	12
1.2.	Tipos de fallas asociadas a lubricación.....	12
1.3.	Especificación API para aceites de motores Diésel.....	18
2.1.	Categorización de equipos pesados según aplicación.....	26
2.2.	Ponderación de parámetros de consecuencias.....	31
2.3.	Ponderación de frecuencia de fallas.....	32
2.4.	Formato de Análisis de Criticidad. Equipo Mayor Coandes.....	34
2.5.	Formato de Análisis de Criticidad. Maquinaria General Coandes.....	35
2.6.	Resumen de Resultados de Criticidad Maquinaria General.....	37
2.7.	Resumen de Resultados de Criticidad Equipo Mayor.....	38
2.8.	Análisis de Pareto. Criticidad de la Maquinaria Pesada.....	40
2.9.	Ficha técnica Cargadora de Túnel.....	44
2.10.	Ficha de estado operativo Cargadora de Túnel.....	45
2.11.	Ficha técnica Dumper.....	46
2.12.	Ficha de estado operativo Dumper.....	47
2.13.	Ficha técnica Compresor.....	48
2.14.	Ficha de estado operativo Compresor.....	49
2.15.	Ficha técnica Mini Cargadora.....	50
2.16.	Ficha de estado operativo Minicargadora.....	51
3.1.	Equipos objeto del AA.....	64
3.2.	Características Aceite UPTDX 15W40.....	64
3.3.	Comparación de Límites Condenatorios.....	66
3.4.	Resumen de Límites Críticos definidos en la investigación	69
3.5.	Resumen de Muestras. Equipo 001.....	70
3.6.	Evaluación de Parámetros de Salud. Equipo 001.....	71
3.7.	Evaluación de Parámetros de Contaminación. Equipo 001.....	74
3.8.	Evaluación de Parámetros de Desgaste. Equipo 001.....	75
3.9.	Resumen de Muestras. Equipo 134.....	79
3.10.	Evaluación de Parámetros de Salud. Equipo 134.....	80
3.11.	Evaluación de Parámetros de Contaminación. Equipo 134.....	82
3.12.	Evaluación de Parámetros de Desgaste. Equipo 134.....	83
3.13.	Resumen de Muestras. Equipo 709.....	87

3.14.	Evaluación de Parámetros de Salud. Equipo 709.....	88
3.15.	Evaluación de Parámetros de Contaminación. Equipo 709.....	89
3.16.	Evaluación de Parámetros de Desgaste. Equipo 709.....	91
3.17.	Resumen de Muestras. Equipo 971.....	95
3.18.	Evaluación de Parámetros de Salud. Equipo 971.....	96
3.19.	Evaluación de Parámetros de Contaminación. Equipo 971.....	97
3.20.	Evaluación de Parámetros de Desgaste. Equipo 971.....	99
4.1.	Procesos actuales y cargos responsables. Función administrativa.....	107
4.2.	Procesos actuales y cargos responsables. Función técnica.....	109
4.3.	Pivotes de concentraciones de silicio de la maquinaria analizada.....	112
4.4.	Comparación del medio filtrante usado en filtros de gama alta y baja.....	113
4.5.	Niveles de azufre en el Diésel Tipo I y Tipo II.....	114
4.6.	Limites críticos manejados por el software.....	118
4.7.	Problemas presentes en la junta de Culata y Bloque.....	138
4.8.	Problemas relacionados con la alta presión de aceite.....	139
4.9.	Problemas relacionados con la baja presión de aceite.....	140
4.10.	Problemas relacionados con el consumo excesivo de aceite.....	142
4.11.	Elementos considerados puntos de consumo excesivo de aceite.....	142

Índice de Fichas.

2.1.	Inventario Equipo Mayor Coandes.....	27
2.2.	Inventario Maquinaria General Coandes.....	28
4.1.	Ejemplo tipo de aplicación de modelo de diagnóstico.....	145
4.2.	Solicitud de trabajos.....	151
4.3.	Orden de repuestos.....	152
4.4.	Historial de reparaciones.....	153
4.5.	Combustible.....	154
4.6.	Guía de mantenimiento programado. 50 horas.....	154
4.7.	Guía de mantenimiento programado. 100 horas.....	155
4.8.	Guía de mantenimiento programado. 200 horas.....	155
4.9.	Guía de mantenimiento programado. 500 horas.....	156
4.10.	Guía de mantenimiento programado. 1000 horas.....	156
4.11.	Guía de mantenimiento programado. 2000 horas.....	157

1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DEL FUNCIONAMIENTO, LUBRICACIÓN Y MANTENIMIENTO DE MOTORES DIÉSEL USADOS EN MAQUINARIA PESADA

1.1 GENERALIDADES DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DIÉSEL

1.1.1 MOTOR TÉRMICO

El motor térmico es una máquina herramienta que tiene por objetivo transformar la energía calorífica en energía mecánica. La energía calórica se obtiene de otras fuentes de energía tales como química, eléctrica o atómica.

1.1.1.1 MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA ALTERNATIVOS

Los motores de combustión interna alternativos (MCIA) son motores que obtienen su energía mecánica por la explosión de un combustible químico que se da dentro de la cámara produciendo un movimiento alternativo lineal, este movimiento es transformado en movimiento rotativo en base a un mecanismo biela – manivela.

1.1.1.2 MOTOR DIÉSEL

El motor Diésel fue inventado en el año 1893 por Rudolf Diésel ingeniero alemán empleado de la firma MAN, mientras estudiaba los motores de alto rendimiento térmico. Durante años Diésel trabajo para poder utilizar otros combustibles diferentes a la gasolina es así que se aplicó el fuel oil o aceite liviano en esos tiempos usado para alumbrar las lámparas de calle, el motor que ideo estaba conseguido para acercarse lo más posible al ciclo de Carnot.

En estos motores la combustión se inicia mediante un proceso de autoencendido de la mezcla de combustible al conseguirse temperaturas suficientemente altas en la cámara de combustión debido al proceso de compresión. Para controlar de modo aproximado el instante de encendido, durante el proceso de admisión se introduce solamente aire y el combustible se inyecta hacia el final de la carrera de compresión, cuando el aire alcanza niveles de temperatura altos y produce el autoencendido. [1]

1.1.2 PARTES PRINCIPALES DEL MOTOR DIÉSEL

1.1.2.1 BLOQUE MOTOR

Es el elemento donde se encuentra la cámara de combustión, así como los conductos de refrigeración y lubricación. Esta forjado en una sola pieza generalmente de hierro o aleaciones de acero o aluminio, tanto el Carter como el cabezote van unidos herméticamente a este mediante empaques.

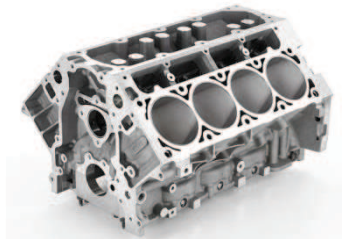


Figura 1. 1 Bloque Motor. FUENTE: aficionadosalamecanica.net

1.1.2.2 CULATA

Este es el elemento que sella los cilindros y suele ser fabricado en aleación de aluminio o hierro, este debe ser lo suficientemente fuerte para distribuir la fuerza que se produce por los gases de combustión y sellar la cámara. Adicionalmente aloja los elementos que accionan las válvulas.

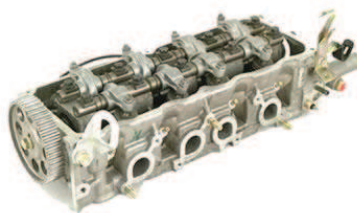


Figura 1. 2 Culata. FUENTE: aficionadosalamecanica.net

1.1.2.3 CIGÜEÑAL

Es el elemento encargado de transformar el movimiento alternativo lineal en rotativo, está fabricado en una sola pieza de acero y que equilibrado con contrapesos, en cada una de sus muñequillas se sujeta la cabeza de biela.



Figura 1. 3 Cigüeñal. FUENTE: aficionadosalamecanica.net

1.1.2.4 BIELA

Son elementos forjados por estampación, posee tres partes definidas cabeza, cuerpo y pie. La cabeza se une al cigüeñal y en conjunto con este transforman el movimiento; el pie se une al pistón y por intermedio de este recibe la fuerza producida por la combustión.



Figura 1. 4 Biela. FUENTE: aficionadosalamecanica.net

1.1.2.5 PISTÓN

Son los elementos encargados de recibir la fuerza proveniente de los gases de explosión transmitiéndola a la biela y sellar la cámara de combustión con el cilindro. Estos suelen fabricarse de fundición gris, aluminio o titanio. Poseen ranuras templadas para los segmentos o anillos.



Figura 1. 5 Pistón. FUENTE: aficionadosalamecanica.net

1.1.2.6 ANILLOS

Están conformados por tres anillos de compresión cromo – plateados cada uno de ellos con una función específica, sellar la cámara, transmitir temperatura y arrastrar el aceite.



Figura 1. 6 Anillos. FUENTE: aficionadosalamecanica.net

1.1.2.7 COJINETES

Son elementos bimetálicos o trimetálicos diseñados para soportar grandes cargas axiales y radiales así como temperaturas muy altas.



Figura 1. 7 Cojinetes. FUENTE: aficionadossalamecanica.net

1.1.2.8 VÁLVULAS

Son las encargadas de abrir y cerrar el paso de los gases hacia la cámara de combustión. Suelen ser de aleaciones de acero cromado. El asiento de las mismas suele ser reforzado para aguantar las altas temperaturas.



Figura 1. 8. Válvula. FUENTE: aficionadossalamecanica.net

1.1.2.9 ÁRBOL DE LEVAS

Este elemento es el encargado de brindar el movimiento de abertura y cierre de las válvulas. Poseen el mismo número de levas que válvulas posee el motor. Esta elaborado en una sola pieza y balanceado perfectamente.



Figura 1. 9 Árbol de Levas. FUENTE: aficionadossalamecanica.net

1.1.2.10 CARTER

Cierra el bloque motor y es el encargado de almacenar el aceite de lubricación y la bomba del mismo. Fabricado principalmente en acero o hierro.



Figura 1. 10 Cartel. FUENTE: aficionadosalamecanica.net

1.1.2.11 TURBOCARGADOR

Es el elemento encargado de insertar aire forzado en la cámara de combustión a través de múltiple de admisión. La turbina accionada por los gases de escape es solidaria a otra en la admisión por la cual se ingresa aire a presión. En los motores diésel permite un mejor llenado de la cámara y por tanto un mejor rendimiento térmico.



Figura 1. 11 Turbo. FUENTE: aficionadosalamecanica.net

1.1.2.12 MÚLTIPLES DE ADMISIÓN Y ESCAPE

Son los conductos que permiten la entrada y salida desde el bloque hacia dentro o fuera del motor. Suelen estar contruistos en acero, aluminio y actualmente existen múltiples de admisión en plástico.

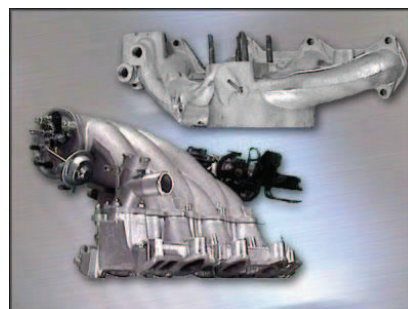


Figura 1. 12 Múltiples de Admisión y Escape. FUENTE: aficionadosalamecanica.net

1.2 FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR DIÉSEL

1.2.1 CICLO DE FUNCIONAMIENTO

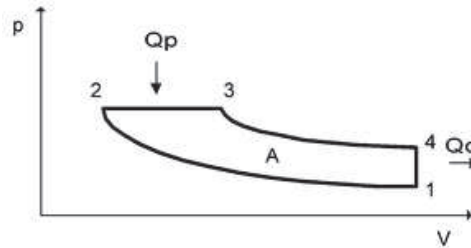


Figura 1. 13 Ciclo Diésel.

FUENTE: PAYRI J. ; DESANTES M. Motores de Combustión Interna Alternativos

El motor diésel requiere de cuatro carreras del pistón o dos revoluciones del cigüeñal (720°) por cada ciclo. El ciclo de combustión diésel comúnmente se asocia a un proceso a presión constante formado por: (Fig. 1.13)

- Dos procesos isoentropicos correspondientes a la compresión (1-2) y la expansión (3-4) respectivamente.
- Un proceso a presión constante, que corresponde al aporte de calor (2-3) Q_p y que representa de forma idealizada la combustión típica de un motor Diésel lento con la combustión controlada por el proceso de inyección.
- Un proceso a volumen constante que corresponde a la cesión de calor (4-1) Q_o .

1.2.1.1 CARRERA DE ADMISIÓN

El pistón inicia su carrera en el PMS y termina en el PMI. Se arrastra mezcla rica al interior del cilindro, la válvula de admisión permanece ligeramente abierta y cierra al llegar al PMI.

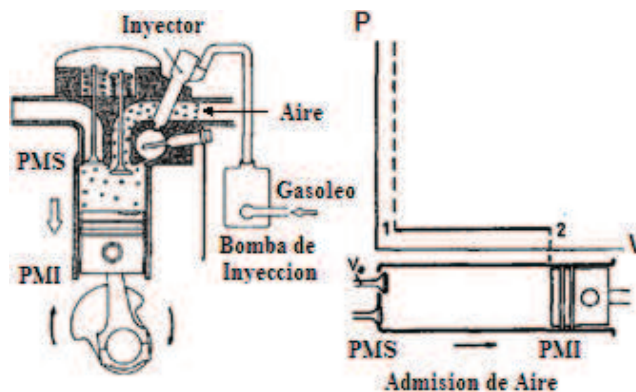


Figura 1. 14 Carrera de Admisión

FUENTE: ARELLANO G. Implantación de Análisis de Aceite en Motores Diésel

1.2.1.2 CARRERA DE COMPRESIÓN

Las válvulas de admisión y escape están cerradas, el pistón sube del PMI al PMS comprimiendo el aire a una fracción de su volumen inicial e incrementando su temperatura. Hacia el final de la carrera se inicia el proceso de combustión.

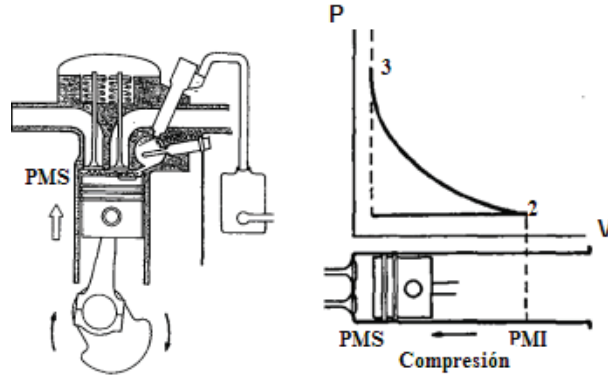


Figura 1. 15 Carrera de Compresión.

FUENTE: ARELLANO G. Implantación de Análisis de Aceite en Motores Diésel

1.2.1.3 CARRERA DE EXPANSIÓN

Inicia con el pistón en el PMS y termina en el PMI en la medida que los gases a elevada temperatura y presión empujan el pistón hacia abajo forzando a girar la manivela. Durante ésta carrera se logra aumentar considerablemente el trabajo realizado por el pistón durante la compresión. En la medida en que el pistón se aproxima al PMI la válvula de escape se abre para iniciar el proceso de escape y cae la presión en el cilindro hasta un valor cercano a la presión en el escape

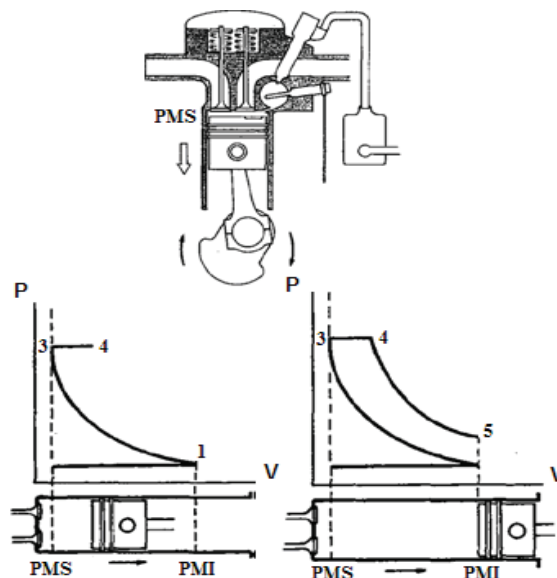


Figura 1. 16 Carrera de Expansión (Explosión).

FUENTE: ARELLANO G. Implantación de Análisis de Aceite en Motores Diésel

1.2.1.4 CARRERA DE ESCAPE

Los gases salen del escape debido a que la presión en el múltiple de escape es menor a la presión de cilindro y también provocado por la acción de ascenso del pistón. A medida que el pistón llega al PMS se cierra abriendo ligeramente la válvula de admisión para favorecer el llenado del siguiente ciclo

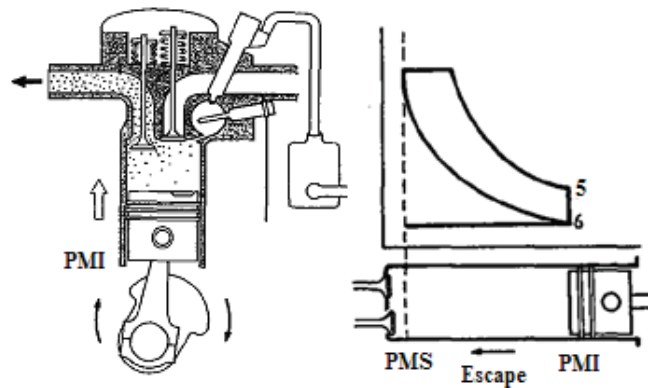


Figura 1. 17 Carrera de Escape.

FUENTE: ARELLANO G. Implantación de Análisis de Aceite en Motores Diésel

1.3 SISTEMAS DE LUBRICACIÓN EN MOTORES DIÉSEL

En los motores de combustión interna alternativos diésel, la lubricación se ve afectada por los distintos fenómenos que debe enfrentar tales como grado de azufre o altas temperaturas y presiones. En estos motores nos encontramos con diferentes pares rozantes los cuales requieren un adecuado sistema de lubricación, existen varios sistemas para este fin tales como lubricación por barboteo, lubricación por mezcla y lubricación a presión siendo esta última la más utilizada en los motores diésel actuales.

1.3.1 LUBRICACIÓN A PRESIÓN

En este tipo de sistema el aceite se suministra desde el cárter por medio de una bomba y de varios conductos por donde se envía hacia las correspondientes superficies en rozamiento, desde donde vuelve a escurrir al cárter por acción de la gravedad. Con este sistema, se proporciona la cantidad necesaria de aceite y se asegura una circulación intensa del mismo.

Al mismo tiempo los motores que usan este tipo de lubricación pueden diferenciarse según la configuración del cárter.

- Carter húmedo.- Es del tipo más común y consiste en un recipiente colocado inferiormente al motor que sirve de depósito, en este lugar el aceite es recogido y bombeado de nuevo al motor.

- Carter seco.- En esta disposición el cárter únicamente actúa recogiendo el aceite que escurre desde el motor, luego el aceite pasa a un tanque de almacenamiento.

1.3.1.1 COMPONENTES

Los sistemas de lubricación suelen contar con los siguientes elementos:

- Carter o tanque de almacenamiento
- Bomba de aceite
- Depuradoras y filtros de aceite
- Tuberías
- Intercambiador enfriador de aceite
- Elementos de control
- Interruptor de presión
- Colador de aceite

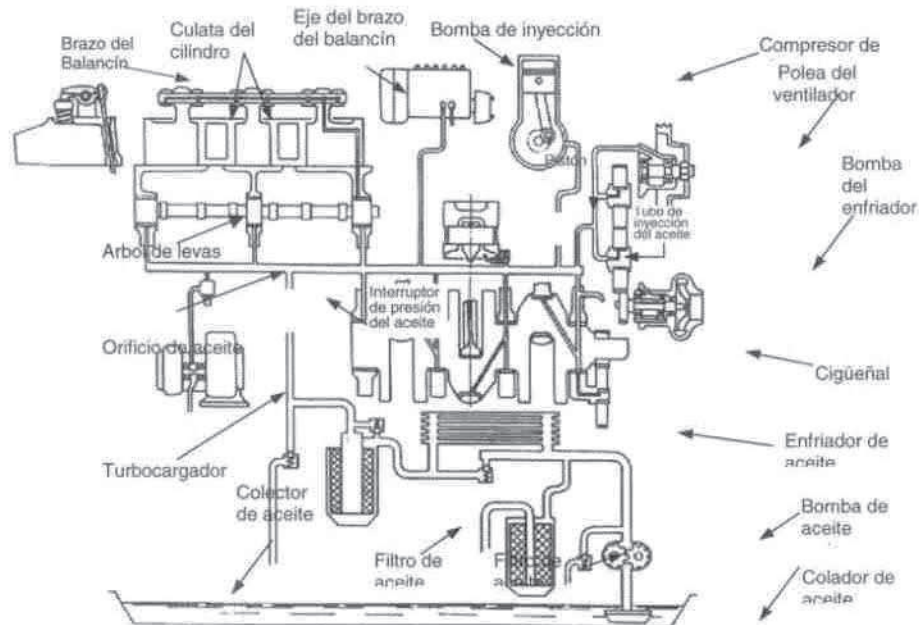


Figura 1. 18 Partes del sistema de lubricación. FUENTE: misena.edu.co

1.3.1.2 FUNCIONAMIENTO

La bomba de aceite envía el aceite en el cárter a través del colador de aceite, en donde se remueve las partículas relativamente grandes. Se envía la mayor parte del aceite presurizado al enfriador de aceite, en donde se enfría.

Posteriormente se filtra el aceite del enfriador mediante el filtro de flujo completo, y de allí se envía a la galería de aceite en el bloque de cilindros. Desde este lugar, se distribuye cada sección de lubricación. El aceite enviado a través de los cojinetes de las muñoneras pasa por el conducto del aceite dentro del cigüeñal para entrar en contacto con los codos del cigüeñal, lubricar los cojinetes de las bielas, y a la vez, lubricar las camisas de los cilindros y los pistones. Además, el chorro de enfriamiento del pistón, que está ubicado debajo de la parte inferior de la camisa, enfría el pistón mediante la atomización del aceite. El aceite que ha lubricado los cojinetes del árbol de levas, pasa por el conducto de aceite en el bloque de cilindros y la culata del cilindro, y entra al eje de los balancines para lubricar las superficies de contacto de los balancines, los vástagos de las válvulas y las varillas de empuje.

Finalmente se lubrica la bomba de inyección y el compresor de aire con el aceite en la galería de aceite y el aceite que circula a cada sección de lubricación se devuelve al cárter de aceite por gravedad.

1.4 TRIBOLOGÍA DE MOTORES

La tribología es la ciencia y tecnología que estudia la interacción de superficies en movimiento relativo, que se encuentran en contacto mutuo y los fenómenos con ella relacionados. Es una ciencia relativamente nueva y actualmente cuenta con muchas y diversas ramificaciones en distintas tecnologías aplicadas. Comprende temas como la fricción, el desgaste, la lubricación, diseño y mantenimiento por ello está considerada como una ciencia interdisciplinar [2]

La finalidad principal de la lubricación es la reducción de la fricción entre dos pares en movimiento, al reducir la fricción se consigue una reducción del desgaste de las piezas con el consiguiente incremento de la vida útil de las mismas. Además una adecuada lubricación permite obtener otros beneficios aplicables tales como minorar el consumo de energía, reducir la contaminación externa al sistema, refrigerar los pares en contacto y proteger contra ataques corrosivos u oxidantes. La sustancia interpuesta entre los pares para lograr estos puntos se denomina lubricante y puede ser de estado sólido, líquido e inclusive gaseoso.

1.4.1 REGÍMENES DE LUBRICACIÓN

El principal modelo que describe los contactos deslizantes con lubricación es el formulado por Stribeck en 1902. Según el modelo el coeficiente de fricción puede expresarse como:

$$f = \alpha f_s + (1 - \alpha) f_l \quad (\text{Ec. 1.1})$$

Donde, f_s es el coeficiente de fricción seca metal-metal, f_l es el coeficiente de fricción hidrodinámica y α es la relación de contacto metal que varía entre 1 que corresponde a contacto intenso y 0 correspondiente a separación total.

1.4.1.1 LUBRICACIÓN HIDRODINÁMICA

En este caso la capa de lubricante tiene un espesor suficiente para evitar el contacto entre las superficies sólidas opuestas ($\alpha \rightarrow 0$) entonces las características de la fricción pueden explicarse con la mecánica de fluidos clásica. Este régimen es el idealmente buscado ya que permite la menor fricción y el mínimo desgaste

Algunos fenómenos que favorecen la lubricación hidrodinámica son:

- Operación a velocidad constante
- Temperatura del lubricante estable
- Régimen de carga adecuado
- Adecuada viscosidad del lubricante

1.4.1.2 LUBRICACIÓN LÍMITE

Si las superficies de los sólidos no están completamente separadas por el lubricante y existe contacto en un área comparable a la que se desarrolla en el contacto seco, se denomina lubricación límite ($\alpha \rightarrow 1$). Para este régimen las propiedades físicas y químicas tales como rugosidad, dureza, elasticidad, oxidación rigen el movimiento mínimamente soportado por la película delgada de lubricante.

1.4.2 FALLAS ASOCIADAS A LA LUBRICACIÓN

El principal objetivo de la lubricación es la disminución de las fallas mecánicas tanto catastróficas y funcionales en un sistema. Si bien ambos tipos de falla pueden ser ocasionadas por otros fenómenos distintos a la lubricación, es innegable el peso de la misma dentro del mantenimiento de las piezas ya que alrededor de un 60 a 80 por ciento de las fallas mecánicas están asociadas a la lubricación.

Tabla 1. 1 Tipos genéricos de desgaste por parte de motor.

FUENTE: TORMOS B. Diagnóstico de Motores Diésel Mediante Análisis del Aceite Usado

PARTE	Adhesivo	Corrosivo	Abrasivo	Fatiga	Erosivo
Camisas, segmentos, pistones	X	X	X		
Levas, empujadores y balancines	X	X	X	X	
Vástago, guía de válvula	X		X		
Apoyo y asiento de válvula			X		
Engranajes de distribución	X		X	X	
Muñones		X	X	X	X
Cojinetes		X	X		X
Bomba de aceite	X		X	X	
Bomba de combustible	X		X	X	
Bomba de inyección	X			X	

Existen distintos tipos de fallo mecánico catalogados y estandarizados, cada uno de ellos representa una condición distinta del proceso de degradación del material pero todas están frecuentemente asociadas a una inadecuada lubricación. En la siguiente tabla (Tabla 1.1) basada en la norma ISO 15234.2004 referente a fallas mecánicas aplicable a rodamientos se establece cuales se asocian directamente a la lubricación.

Tabla 1. 2 Tipos de fallas asociadas a lubricación. FUENTE: Autor

TIPO	SUBTIPO	ASOCIADO A LUBRICACIÓN	NO ASOCIADO A LUBRICACIÓN
FATIGA	Su superficie		X
	Iniciado en superficie	X	
DESGASTE	Abrasivo	X	
	Adhesivo	X	
CORROSIÓN	Humedad	X	
	Fricción	X	
EROSIÓN ELÉCTRICA	Voltaje Excesivo		X
	Fugas de Corriente		X
DEFORMACIÓN PLÁSTICA	Sobrecarga		X
	Virutas de Corte	X	
	Virutas de Manejo		X
FRACTURA	Fractura por Fuerza		X
	Fractura por Fatiga	X	
	Fractura Térmica	X	
EROSIÓN	Abrasiva	X	
CAVITACIÓN	Implosiva	X	

1.4.2.1 FALLA POR DESGASTE

El desgaste está vinculado a la formación y posterior ruptura de varias uniones metálicas que existen entre dos superficies en contacto. Puede ser de tipo abrasivo o adhesivo y está fuertemente vinculada a fenómenos como impurezas en el lubricante o aceite fuera del rango de servicio.

Desgaste Adhesivo

Este tipo de desgaste ocurre cuando existe una transferencia de metal de una superficie en contacto hacia otra. Producido este fenómeno debido a altas cargas, alta temperatura o alta presión. Como consecuencia la superficie termina áspera y dentada o relativamente suave debido al desplazamiento del metal.

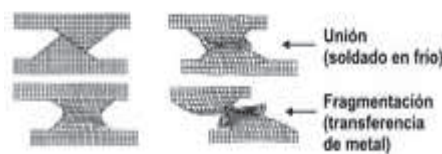


Figura 1. 19 Desgaste adhesivo. FUENTE: machinerylubrication.com

Desgaste Abrasivo

Es la forma más común de desgaste en máquinas lubricadas. Esta se origina cuando un contaminante como partículas externas o de desgaste (abrasión de tres cuerpos) y la rugosidad de superficies (abrasión de dos cuerpos), causan cortes y danos a dos superficies que están en movimiento relativo una con respecto a la otra.

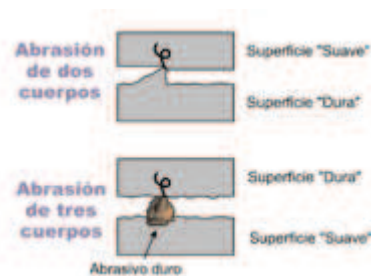


Figura 1. 20 Desgaste abrasivo. FUENTE: machinerylubrication.com

1.4.2.2 FALLA POR FATIGA SUPERFICIAL

Producida por una reducción del régimen de lubricación pasando a ser de tipo limite o mixta. Al ocurrir una fricción por deslizamiento se genera un daño sobre la superficie cuando los puntos más elevados de las asperezas se van eliminando lo cual inicialmente da la apariencia de una superficie esmerilada. Posteriormente ocurren fisuras y excoiaciones que progresan hacia picado, astillado y desescamamiento.



Figura 1. 21 Falla por fatiga superficial. FUENTE: machinerylubrication.com

1.4.2.3 CORROSIÓN

La corrosión es un proceso de desgaste que puede manifestarse en dos tipos, humedad y por fricción. En ambos casos refiere a una pérdida o remoción del material producida por ataque químico.



Figura 1. 22 Corrosión. FUENTE: machinerylubrication.com

Corrosión Húmeda

La corrosión húmeda se da al existir remoción de material debida a una reacción química oxidativa en la superficie del metal en presencia de agua, la cual se acelera por efectos de temperatura. Es causada generalmente por contaminación o degradación del aceite en servicio.

Corrosión por Fricción

Forma general de desgaste generada por los micro movimientos cargados o la vibración entre partes en contacto siendo canalizada por la humedad o por productos de combustión residuales.

1.4.2.4 EROSIÓN

Proceso de desgaste que puede ser considerado como una forma de desgaste abrasivo. Se da principalmente a alta velocidad cuando las partículas sólidas que han entrado al fluido lubricante golpean sobre la superficie, erosionándola. La tasa de desgaste es proporcional al cuadrado de la velocidad del fluido.



Figura 1. 23 Erosión. FUENTE: machinerylubrication.com

1.4.2.5 CAVITACIÓN

Este proceso de desgaste está asociado a una forma especial de erosión que se produce cuando burbujas de vapor presentes en el aceite, implotan al entrar en zonas de alta presión existentes en los circuitos de lubricación. Esta implosión puede ocasionar huecos o picaduras en el metal.

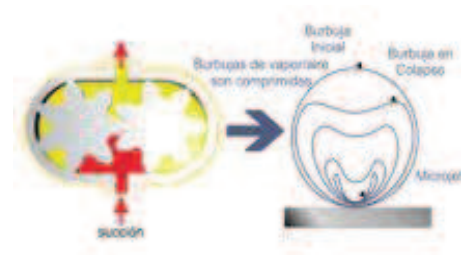


Figura 1. 24 Cavitación. FUENTE: machinerylubrication.com

1.5 ACEITE LUBRICANTE PARA MOTORES DIÉSEL

El aceite en los motores de combustión interna debe estar formulado en función de los requerimientos y problemática específica a la que estos se ven sometidos. Varios son los objetivos de fluido lubricante a más del principal que viene siendo reducir la fricción y el desgaste. Efectos deseables como la detergencia, la disipación de calor, el sellamiento deben ser tenidos en cuenta al momento de seleccionar el fluido. También debe tenerse en cuenta las condiciones especiales de operación que se dan en motores, por este efecto el aceite debe funcionar en un amplio rango de temperaturas y presiones; así como en condiciones de suciedad, contaminación por agua y contaminantes externos. Cada uno de estos parámetros influye directamente en el desempeño del aceite y por ende en el rendimiento de los motores.

1.5.1 COMPOSICIÓN.

1.5.1.1 ACEITES BASE

El fluido básico constituyente del lubricante es una mezcla de dos o más aceites base los cuales pueden ser productos derivados del petróleo crudo conocidos como aceites minerales u otros productos químicos sintetizados químicamente llamados aceites sintéticos.

Los aceites base producidos del refino de petróleo provienen de diversos procesos según el tipo de crudo el cual sea materia prima. Existen tres tipos principales de crudos parafínicos, naftenicos y de base mixta; a cada tipo le corresponden distintos procesos aunque generalmente el proceso convencional que permite obtener el aceite base los constituyen:

- Destilación
- Extracción con disolvente
- Proceso de finalizado
- Desparafinado (parafínicos y mixtos)

1.5.1.2 ADITIVOS

Los aditivos son sustancias que se añaden al aceite en proporciones bajas permiten que el mismo incremente sus propiedades físicas o químicas básicas. En la actualidad los aditivos componen casi todos los aceites comerciales alcanzando hasta el 20% de la composición de algunos de ellos. Existen varios aditivos cada uno de ellos en función de mejorar una propiedad específica.

- Depresores del punto de congelación
- Modificadores de viscosidad
- Antioxidantes
- Aditivos detergentes
- Aditivos dispersantes
- Aditivos anti desgaste

1.5.2 CLASIFICACIÓN DE ACEITES DE MOTOR DIÉSEL

La principal clasificación para los aceites está basada en la viscosidad y es dada por la SAE (Society of Automotive Engineers), esta se basa en la viscosidad de los aceite asignando doce grados los cuales son apropiados para la aplicación en motores de combustión. La norma que rige esta clasificación es la SAE J300.

Además el aumento de los requerimientos de lubricación en los motores a motivado la aparición de especificaciones aplicables a cada tipo de motor. Para motores Diésel se aplica la especificación API, en la cual cada nueva especificación refiere al aumento del nivel de exigencia para una o más áreas de la especificación anterior.

Estas mejoras implican aumentos en el periodo de vida del motor, aumento en vida útil del aceite o condiciones de trabajo.

Viscosidad SAE	Arranque en Frio (cP)	Bombeabilidad en Frio (cP)	Minima Cinemática (cSt)	Maxima Cinemática (cSt)	en alta temperatura (cP)
0W	6,200 a -35°C	60,000 a -40°C	3.8	-	-
5W	6,600 a -30°C	60,000 a -35°C	3.8	-	-
10W	7,000 a -25°C	60,000 a -30°C	4.1	-	-
15W	7,000 a -20°C	60,000 a -25°C	5.6	-	-
20W	9,500 a -15°C	60,000 a -20°C	5.6	-	-
25W	13,000 a -10°C	60,000 a -15°C	9.3	-	-
16	-	-	6.1	<8.2	2.3
20	-	-	6.9	<9.3	2.6
30	-	-	9.3	<12.5	2.9
40	-	-	12.5	<16.3	2.9 (0W-4-, 5W-40, 10W-40)
40	-	-	12.5	<16.3	3.7 (15W-40, 20W-40, 24W-40, 40 monogrado)
50	-	-	16.3	<21.9	3.7
60	-	-	21.9	<26.1	3.7

Figura 1. 25 Clasificación SAE J300. FUENTE: widman.biz

Tabla 1. 1 Especificación API para aceites de motores Diésel. FUENTE: Autor [2]

CLASIFICACIÓN API	ESTADO	CARACTERÍSTICAS
CA	Desaparecida	Para motores de servicio ligero desde 1.940 a 1.950.
CB	Desaparecida	Para motores de servicio moderado desde 1.949 a 1.960.
CC	Obsoleta	Introducida a partir de 1.961. Servicio moderado a severo. Satisface la obsoleta MIL – L – 2104 B.
CD	Obsoleta	Introducida a partir de 1.987. Servicio severo. Alta protección contra depósitos a alta y baja temperatura, desgaste, herrumbre, y corrosión.
CD-II	Obsoleta	Introducida a partir de 1.987. Satisface la calidad CD más algunos ensayos.
CE	Obsoleta	Introducida a partir de 1.987. Servicio severo. Alta protección contra los depósitos a alta y baja temperatura, desgaste, herrumbre y corrosión.
CF-4	Actual	Introducida en 1.990. Para motores de cuatro tiempos rápidos atmosféricos o sobrealimentados
CF	Actual	Introducida en 1.994. Para motores Diésel fuera de carretera, con inyección indirecta y de otro tipo, incluyendo aquellos que usan combustible con más de 0,5 % de azufre en peso
CF-2	Actual	Introducida en 1.994. Para motores de dos tiempos en servicio severo.
CG-4	Actual	Introducida en 1.995. Para motores de cuatro tiempos en servicio severo, que utilizan combustible con menos del 0,5 % de azufre en peso.
CH-4	Actual	Introducida en 1.998. Para motores de cuatro tiempos en servicio severo, diseñados para satisfacer las normas de emisiones de escape de 1.998 y especialmente producidos para utilizar un combustible con menos del 0,5 % en peso de azufre.

CI-4	Actual	Servicio severo en motores diésel a partir de 2.002. Para motores de cuatro tiempos con válvula EGR, diseñados para satisfacer las normas de emisiones de escape de 2.004 (de aplicación en octubre de 2.002) y especialmente producidos para utilizar combustibles con menos de 0,5 % de azufre en peso. Estos aceites son superiores a los CH-4 y mejoran la protección contra la oxidación.
------	--------	--

1.5.3 PROPIEDADES PRINCIPALES DE LOS ACEITES LUBRICANTES

Los aceites lubricantes poseen varias propiedades tanto físicas o químicas que describen su comportamiento en el servicio.

1.5.3.1 VISCOSIDAD E ÍNDICE DE VISCOSIDAD

La viscosidad es el frotamiento interno existente entre las moléculas de un fluido al deslizarse entre sí.

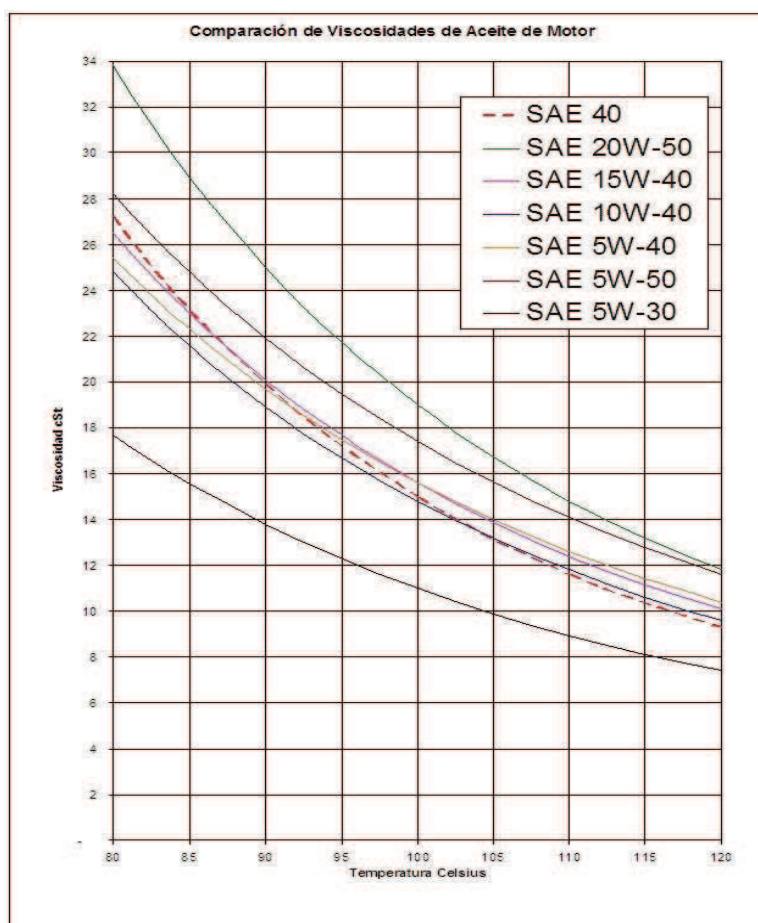


Figura 1. 26 Comportamiento de viscosidad de aceites Diésel a temperatura de régimen. FUENTE: widman.biz

La viscosidad es la característica más importante en la lubricación, esta propiedad permite determinar la capacidad del fluido para mantener la lubricación, esto significa que permite fijar sus pérdidas por la fricción, la capacidad de carga, el rendimiento mecánico y el gasto de fluido para determinadas condiciones de temperatura, velocidad y carga. [1]

1.5.3.2 BASICIDAD Y ACIDEZ

El grado de acidez o basicidad puede expresarse por el número de neutralización respectivo, el cual se define como la cantidad equivalente de miligramos de hidróxido de potasio (KOH) que se requiere para neutralizar el contenido de ácido o base de un gramo (g) de muestra en condiciones normalizadas. [1]

El control de la acidez presente en los aceites permite conocer y evaluar los cambios químicos que presenta el aceite como consecuencia de los ácidos provenientes de los productos de combustión. Para la evaluación de esta propiedad se ha establecido el TAN (Total Acid Number) que es la medida de la acidez total; a su vez la reserva básica del combustible suele expresarse con el TBN (Total Base Number) el cual representa la capacidad para neutralizar los ácidos de la combustión.

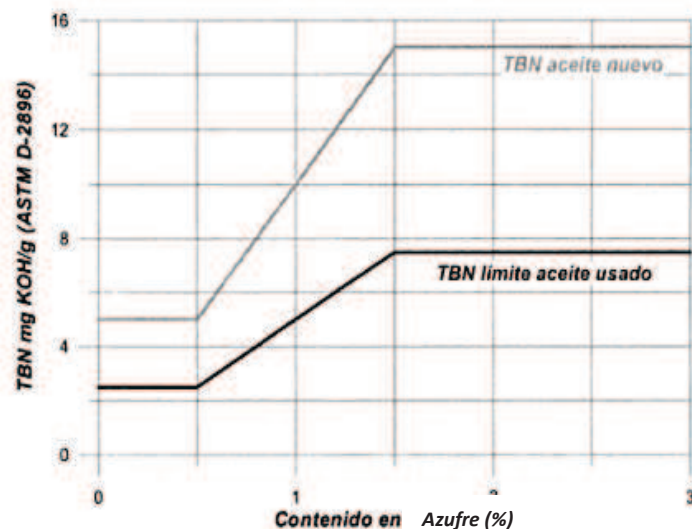


Figura 1. 27 Nivel de TBN necesario según el nivel de azufre en el combustible. FUENTE: Motores de Combustión Interna Alternativos

1.5.3.3 DETERGENCIA Y DISPERSIÓN

Estos aditivos permiten minimizar la formación de depósitos en las partes calientes del motor y lodos en las partes frías de los mismos. Los aditivos dispersantes minimizan los lodos, mientras que los detergentes como los sulfonatos minimizan los depósitos en alojamientos y pistones.

1.5.3.4 OXIDACIÓN Y NITRACIÓN

Debido al trabajo mismo del aceite en altas temperaturas sufre de un proceso de degradación, como consecuencia de esta se producen en el mismo productos que tiene el grupo carbonilo (ésteres, cetona o ácidos carboxílicos). El efecto de esta oxidación prolongada es un aumento de viscosidad y disminución de alcalinidad.

La nitración resulta de la reacción del aceite con óxidos de nitrógeno producidos por el nitrógeno atmosférico, este produce barnices y lacas en partes del motor.

1.5.3.5 ADITIVOS ANTI DESGASTE

Estos son los comúnmente llamados aditivos de lubricación límite, permiten la protección química de aleaciones de una dureza más baja que son usadas en elementos como cojinetes y rodamientos. Desde 1941 el más extendido es el dialquilditiofosfato de zinc (ZDDP).

1.6 MANTENIMIENTO DE MOTORES

1.6.1 GENERALIDADES DEL MANTENIMIENTO

El mantenimiento es el conjunto de actividades destinadas a mantener o restablecer un bien a un estado o a unas condiciones dadas de seguridad en el funcionamiento, para cumplir con una función requerida. Estas actividades suponen una combinación de prácticas técnicas, administrativas y de gestión.

El mantenimiento de los equipos industriales es de suma importancia, ya que un adecuado programa permite que la maquinaria tenga largos periodos de vida útil sin comprometer una disminución de su eficiencia. Un buen mantenimiento garantizara la confiabilidad operacional de los equipos con un mínimo coste integral.

Para cualquier departamento de mantenimiento el objetivo principal es la conservación, ante todo, del servicio que están suministrando las maquinas; este es el verdadero fin del proceso de mantenimiento, la no para en la producción. Un buen plan de mantenimiento equilibrara la calidad del servicio de la máquina, la duración adecuada del equipo y costos mínimos del mantenimiento.

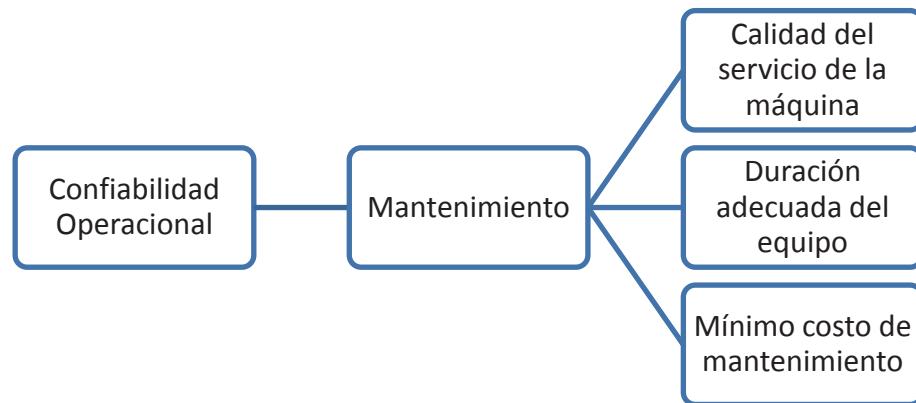


Figura 1. 28 Puntos del Mantenimiento. FUENTE: Autor

1.6.2 ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO

El mantenimiento dentro de su ejecución se vale de estrategias, estas son los métodos o tácticas posibles de ser aplicadas para conseguir el objetivo de la no presentación de fallas. A lo largo de la historia industrial se han ido implementando diferentes estrategias de mantenimiento llamados tipos, las más importantes por su aplicación son:

- Mantenimiento Correctivo
- Mantenimiento Preventivo
- Mantenimiento Predictivo
- Mantenimiento Proactivo



Figura 1. 29 Evolución del Mantenimiento. FUENTE: mantenimientomundial.com

1.6.2.1 MANTENIMIENTO CORRECTIVO O REACTIVO

Es el primer tipo de mantenimiento y nació con la industrialización misma, refiere a la necesidad obvia de reemplazar o reparar un componente una vez que haya sufrido una avería por lo cual el equipo no puede estar en uso hasta terminar el trabajo de remediación. Este tipo de mantenimiento requiere tiempo de paro sin planificar del equipo y disponibilidad de repuestos.

1.6.2.2 MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El mantenimiento preventivo se basa en la conservación planeada. Tiene como función conocer en todo momento el estado de la máquina, para en base a esto planificar las tareas de mantenimiento en el momento más oportuno.

Este mantenimiento preventivo se refiere a no esperar que las maquinas fallen para hacer tareas de revisión, si no programar los recambios con el tiempo necesario antes que fallen basándose en las especificaciones técnicas de los equipos.

1.6.2.3 MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Esta estrategia se basa en la determinación del estado operativo de la máquina. El concepto nos habla de que la maquina dará algún tipo de aviso antes de que falle, por lo cual se intenta percibir estos síntomas para después tomar acciones. Este método basa sus probabilidades en las mediciones periódicas que realiza por sobre una variable determinada.

1.6.3 MANTENIMIENTO PROACTIVO

“El mantenimiento proactivo, es una filosofía de mantenimiento, dirigida fundamentalmente a la detección y corrección de las causas que generan el desgaste y que conducen al fallo de la maquinaria. Una vez que las causas que generan el desgaste han sido localizadas, no debemos permitir que estas continúen presentes en la maquinaria ya que de hacerlo, su vida y desempeño se verán reducidos. La longevidad de los componentes del sistema depende de que los parámetros de causas de falla sean mantenidos dentro de los límites aceptables, utilizando una práctica de detección y corrección de las desviaciones.”¹

En resumen esta estrategia se enfoca en que una vez detectada la causa raíz del desgaste, se debe eliminar, ya que para extender la vida en servicio de los componentes se deben mantener los parámetros de causa dentro de límites

¹ TRUJILLO G. (2002). El Mantenimiento Proactivo como una herramienta para extender la vida de sus equipos. [Online] Recuperado de <http://www.mantenimientomundial.com>

aceptables. Las estadísticas dentro del mantenimiento prueban que el 20% de las causas generan el 80% de los fallos.

La filosofía del mantenimiento proactivo se enfoca en las maquinas críticas, efectúa un análisis de modos de falla, síntomas y efectos; para de esta manera determinar los objetivos de control para cada una de ellas, los tipos de análisis que se efectuaran y las medidas que deben tomarse para regresar a los valores establecidos. [4]

1.6.3.1 MANTENIMIENTO PROACTIVO DE MOTORES DIÉSEL

La maquinaria pesada tal como: maquinaria vial, agrícola, de construcción, de minería; posee motores diésel que en su funcionamiento alternativo-rotativo tienen asociada la probabilidad de falla, esta se incrementa a medida que aumenta el nivel de desgaste y contaminación del sistema. Las condiciones propias de servicio severo a las que se someten estos motores solo contribuyen a acrecentar más estos fenómenos.

A pesar de que el motor no este experimentando una pérdida de su desempeño o desgaste de sus componentes, siempre estarán presentes las condiciones que permitirán la reducción de la vida útil y la aparición de fallas; en consecuencia la aplicación de recursos como el análisis de aceite lubricante, el análisis de vibraciones o la termografía se constituyen en herramientas que permiten la aplicación de una estrategia proactiva de mantenimiento para el caso de flotas de maquinaria pesada.

1.6.3.2 OBJETIVO DEL MANTENIMIENTO PROACTIVO

El mantenimiento proactivo al ser un proceso industrial, tiene por meta conseguir la más alta productividad con el empleo racional, eficaz y económico de la planta. Recordando que con la aplicación de la estrategia proactiva se cuidara tanto los bienes materiales como los recursos humanos, este proceso se convierte en una herramienta de global aplicación dentro de la empresa. No es únicamente una herramienta que denuncie los procesos insatisfactorios, más bien busca hacer que ese proceso genere satisfacción a toda la empresa en conjunto.

2. ESTUDIO DE CRITICIDAD DE LA MAQUINARIA PESADA DE LA EMPRESA COANDES

2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EMPRESA

Constructora de los Andes COANDES Cía Ltda, es una empresa constructora ecuatoriana con base en la ciudad de Quito que contribuye a la infraestructura urbana y rural mediante la ejecución de obras de ingeniería civil. Principalmente se enfoca en la construcción de obras hidráulicas y electromecánicas, subterráneas, de vialidad, de equipamiento urbano y vivienda. Desde su fundación en 1981 ha aportado con más de 120 proyectos en todas las regiones del país, convirtiéndose en una de las empresas más importantes del Ecuador en el campo de la construcción de obras de infraestructura.



Figura 2. 1 Logotipo de la empresa COANDES. FUENTE: coandes.com.ec

La empresa basa su accionar en la filosofía de brindar servicios de óptima calidad que satisfagan las necesidades y expectativas del cliente, utilizando todas las herramientas administrativas y técnicas necesarias para la planificación, ejecución y control del desarrollo de los procesos y el mejoramiento continuo de los mismos, comprometiéndose con la calidad del proyecto, con el medio ambiente y con la comunidad.

En el curso de esta investigación la empresa se encuentra desarrollando la obra civil del proyecto Hidroeléctrica Victoria (10 MW) ubicado en el río Quijos en el cantón homónimo de la provincia de Napo. La ejecución del proyecto contempla varias obras hidráulicas tales como toma de fondo, un túnel de conducción, desarenador, tuberías, casa de máquinas y otras.

2.2 DESCRIPCIÓN DE LA MAQUINARIA

Siendo COANDES una empresa dedicada a la ingeniería Civil, cuenta con varios equipos modernos de aplicación en la construcción. La superintendencia o departamento de mantenimiento y equipos es la encargada de la adquisición y mantenimiento de todo el parque mecánico de la compañía, así como de la parte técnica del inventario.

El inventario de la empresa engloba maquinaria pesada como grúas, bombas de hormigón, generadores, compresoras, equipos de perforación, retroexcavadoras, excavadores, tractores, motoniveladoras, hormigoneras. Además de equipo menor y de soporte.

Dentro del proyecto en ejecución actualmente, la construcción del túnel de conducción hacia la captación hidráulica y la casa de máquinas requiere la intervención de maquinaria pesada de traslado de tierras, generación eléctrica, perforación, conformación de hormigones y potencia.

2.2.1 CATEGORIZACIÓN DE LA MAQUINARIA PESADA

Los equipos pesados de la constructora son catalogados por el departamento de mantenimiento en dos grupos: equipo mayor y maquinaria general. Esto con el objetivo de diferenciar sus características y objetivo dentro del proceso de ejecución de la obra.

Tabla 2. 1 Categorización de equipos pesados según aplicación. FUENTE: Departamento de Mantenimiento COANDES

CATEGORÍA	EQUIPOS
Equipo Mayor	Compresores
	Generadores
	Torres de Iluminación
	Lanzadoras/Bombas de Hormigón
	Perforador Portátil
Maquinaria General	Cargadora de Ruedas
	Cargadora de Túnel
	Drill Jumbo
	Excavadoras de Oruga
	Dumper
	Minicargadora
	Tractor Oruga
	Motomixer
	Retroexcavadoras

En esta categorización se denota que los equipos mayores refieren a aquella maquinaria de abastecimiento y potencia, esta maquinaria generalmente permanece en constante trabajo durante toda la jornada además de anclada a una misma bahía durante largos periodos de tiempo, por ello presenta como característica principal el funcionar en base a motores estáticos los cuales poseen su particular régimen de funcionamiento.

Del otro lado encontramos la maquinaria general, cuyo principal objetivo es el movimiento de tierras y traslado de materiales. Estos son equipos que trabajan en función de las necesidades específicas de la obra diaria y que además se trasladan

entre los distintos entornos particulares de los proyectos. Son motores de régimen variable que enfrentan además las condiciones únicas de operación que presentan sus operadores.

Dentro del inventario de máquinas de la empresa indistintamente de la categoría asignada a cada equipo, el departamento de mantenimiento recurre a un sistema de código simple que permite la identificación rápida de cada máquina. Este código consta de tres dígitos indistintos que se asignan al momento de la adquisición según el tipo de máquina. Además de ello con fines del mantenimiento se asocia al inventario la condición de operación sea esta sobre o bajo tierra.

Ficha 2. 1 Inventario Equipo Mayor Coandes FUENTE: Departamento de Mantenimiento Coandes

INVENTARIO DE MAQUINARIA COANDES CIA LTDA 2014							
EQUIPO MAYOR							
CATEG	CÓD.	DETALLE	AÑO	MARCA	MODELO	SERIE	CONDIC TRABAJO
EQUIPO MAYOR	312	Bomba Hormigón	2007	Putzmeister	TS-2050	8438682 k0h156049r	SOBRE TIERRA
EQUIPO MAYOR	067	Compresor	2008	Sullair	225 HCAT	200806067	SOBRE TIERRA
EQUIPO MAYOR	014	Compresor	2010	KAISHAN	LG CY 13/13	131014	SOBRE TIERRA
EQUIPO MAYOR	709	Compresor	2012	DOOSAN / INGERSOLL RAND	XP375WCU-T2	43AWD44	SOBRE TIERRA
EQUIPO MAYOR	553	Generador / Torre de Iluminación	2007	Wacker Neuson	LTC4L	5703553	SOBRE TIERRA
EQUIPO MAYOR	105	Perforador Portatil Drilling Rig	2013	FAMBITION	FAMD-30	B1314-XS1	SOBRE TIERRA

INVENTARIO DE MAQUINARIA COANDES CIA LTDA 2014							
MAQUINARIA GENERAL							
CATEG	CÓD.	DETALLE	AÑO	MARCA	MODELO	SERIE	CONDIC TRABAJO
Maquinaria	201	Cargadora de Ruedas	1994	John Deere	JB-544-G	DW544G B544811	SOBRE TIERRA
Maquinaria	001	Cargadora para tunel	2012	FAMBITION	FAM-L2	W1001	BAJO TIERRA
Maquinaria	134	Dumper	2001	Terex	PS3000 Z3289	SLBDNN0Z E103AR134	BAJO TIERRA
Maquinaria	217	Minicargadora	2008	Caterpillar	246 B	CAT246BK PAT03441	BAJO TIERRA
Maquinaria	218	Minicargadora	2008	Caterpillar	246 C	CAT0246C TJAY03029	SOBRE TIERRA
Maquinaria	971	Minicargadora	2013	HYUNDAI	HSL850- 7A	HHKHS70 2HD0000971	BAJO TIERRA
Maquinaria	216	Minicargadora	2006	Caterpillar	246 B	CAT246B HPAT03058	SOBRE TIERRA
Maquinaria	326	Motomixer	2006	Fiori	DB-250	BF03M0767 MOTOR 890013 A00133077	BAJO TIERRA
Maquinaria	240	Retroexcavador	2006	Caterpillar	420 D	CAT0420 DEFDP26228	SOBRE TIERRA
Maquinaria	367	Retroexcavador	2011	Caterpillar	420 E	CAT0420 EJDJL02367	SOBRE TIERRA
Maquinaria	283	Rodillo Doble Tambor	1994	Dynapac	CC-421	GER-594	SOBRE TIERRA
Maquinaria	659	Track Drill	2012	FAMBITION	KY 120	110659	SOBRE TIERRA
Maquinaria	251	Tractor Oruga	1978	Caterpillar	D-6-D	4X2997	SOBRE TIERRA

2.3 ANÁLISIS DE CRITICIDAD

Un análisis de criticidad se realiza para lograr identificar los componentes que pueden considerarse más importantes para el buen funcionamiento de una operación; un componente que ha sido denominado crítico requiere que al mismo se le asigne procesos de mantenimiento prioritarios a fin de minimizar los detonantes de fallas. La herramienta de análisis de criticidad es un proceso que permite identificar y jerarquizar a los elementos más importantes a fin de dirigir sobre ellos los recursos humanos, económicos, técnicos y tecnológicos.

El análisis de criticidad, se debe aplicar cuando se encuentra la necesidad de fijar prioridades en sistemas complejos, administrar recursos escasos, crear valor, determinar impacto en la operación y aplicar metodologías de confiabilidad operacional. En base a esto comprendemos que el análisis de aceite, entendido como una metodología de confiabilidad operacional y siendo también un recurso escaso; requiere de un punto de aplicación justificado en el estudio de criticidad. Los equipos que se arrojen como críticos del estudio son sobre los cuales se aplica el análisis de lubricante. [5]

Estas dos herramientas juntas permitirán determinar los equipos proclives a sucesos, el tipo de los eventuales sucesos indeseados y sus causas detonantes permitiéndonos trabajar dentro del contexto de la confiabilidad operacional cada punto del mantenimiento. La confiabilidad operacional se puede definir como la capacidad de una operación tanto en su recurso humano como técnico para cumplir su objetivo propuesto, dentro de sus límites de diseño, con el nivel exigido de calidad y en el tiempo determinado aceptado.

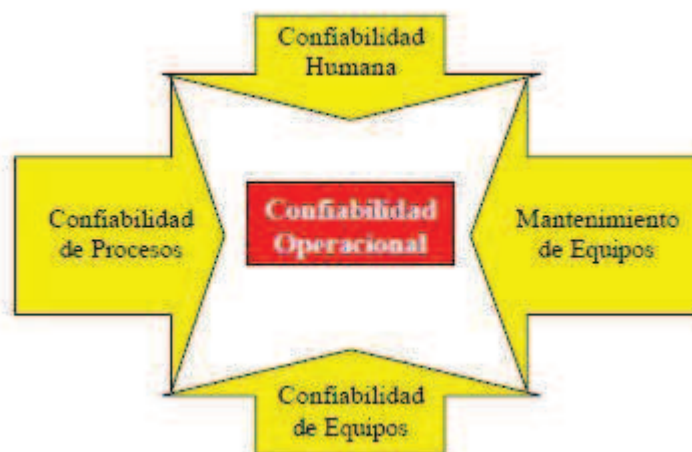


Figura 2. 2 Bases de la Confiabilidad Operacional. FUENTE: mtto4lisethlopez.blogspot.com/2011/10/el-analisis-de-criticidad.html

Llamar crítico a un elemento en una operación requiere de varios elementos que en suma, dan a conocer el nivel de importancia dentro de la confiabilidad operacional. Estos elementos que evalúan la criticidad son:

- La flexibilidad operacional (disponibilidad de reemplazar el equipo)
- Efectos en la capacidad de producción
- Consecuencia en la calidad final
- Efectos sobre la seguridad e higiene
- Efectos sobre el medio ambiente
- Costo inherentes a paradas por fallos
- Frecuencia de fallas

2.3.1 METODOLOGÍA DE ANÁLISIS

Para la cuantificación de la criticidad se usa el concepto del riesgo el cual es un método sencillo y práctico soportado en la asociación entre la frecuencia de fallas y las consecuencias. Riesgo en términos de criticidad está definido como la probabilidad de ocurrencia de evento en función del tiempo y sus consecuencias. [6]

Para calcular la criticidad de un equipo dentro de una planta, se aplica un criterio determinístico que transforme las características cualitativas de ese equipo (flexibilidad impacto en producción, costos de reparación, impacto en producción, impacto ambiental, confiabilidad operacional) en un valor numérico que permite clasificarlo objetivamente, en relación al resto de equipos de la planta.

$$\text{CRITICIDAD} = \text{Frecuencia de Falla} * \text{Consecuencia}$$

$$\text{Consecuencia} = (\text{Impacto Operacional} * \text{Flexibilidad}) + \text{Costo Mantenimiento} + \text{Impacto Seguridad y Ambiente}$$

Figura 2. 3 Cálculo de la criticidad de un equipo. FUENTE: WOODHOUSE J. *Critically Analysis* Revisted.

2.3.1.1 CONSECUENCIAS

Son los parámetros subjetivos evaluados en función del criterio del departamento de mantenimiento de la empresa, estos son: Impacto operacional (IO), flexibilidad operacional (FO), costo de mantenimiento (CM) e impacto sobre la seguridad y el medio ambiente (ISA).

Estos parámetros podemos entenderlos como: [7]

- **Impacto Operacional:** Representa el vínculo de un equipo especial con uno o más equipos del sistema. Es decir su repercusión dentro de la línea de proceso.
- **Flexibilidad Operacional:** Representa el tiempo promedio que toma reparar la falla o el tiempo en que otra unidad estará en servicio.
- **Costo de mantenimiento:** Evalúa el costo de las fallas, tiene en cuenta todos los costos vinculados.
- **Impacto en la seguridad personal y medio ambiente:** Considera la posibilidad de ocurrencia de eventos no deseados con daños a personas o al medio ambiente producto de la ocurrencia de un fallo.

Para la ponderación total de las consecuencias o impactos se otorga un valor numérico a cada parámetro subjetivo en función de un conjunto de criterios, por consiguiente a cada equipo analizado le corresponde un valor para cada parámetro y una ponderación total para consecuencia.

Tabla 2. 2 Ponderación de parámetros de consecuencias. FUENTE: Autor

IMPACTO OPERACIONAL (IO)		IMPACTO EN LA SEGURIDAD Y EL MEDIO AMBIENTE (ISA)	
TIPO DE IMPACTO	VALOR	TIPO DE IMPACTO	VALOR
Pérdida total de producción	10	Afecta la seguridad humana tanto externa como internamente	8
Parada del equipo	7	Afecta las instalaciones causando daños severos	7
Impacta en la calidad final o ejecución del trabajo	4	Afecta únicamente el ambiente de las instalaciones	5
Sin efecto sobre la producción	1	Provoca danos menores en el ambiente y seguridad	3
		No provoca danos a personas o ambiente	1
FLEXIBILIDAD OPERACIONAL (FO)		COSTOS DE MANTENIMIENTO (CM)	
TIPO DE FLEXIBILIDAD	VALOR	RANGO DE COSTO	VALOR
No existe opción de reemplazo del equipo	4	Costo mayor a \$1000	2
Existe opción de reparación rápida o reemplazo parcial	2	Costo menor a \$1000	1
Existe opción de reemplazo disponible	1		

2.3.1.2 FRECUENCIA DE FALLAS

La frecuencia de fallas representa la periodicidad con la que una maquina o equipo presenta cualquier tipo de fallo en un periodo de tiempo de un año. Este parámetro es cuantificable usando un criterio establecido en función del historial de trabajo de la empresa donde se puede conocer la tendencia frecuencial de fallas de la maquinaria. A cada máquina le corresponde uno de los criterios definidos y por consiguiente una respectiva calificación ponderada. [7]

Tabla 2. 3 Ponderación de frecuencia de fallas FUENTE: Autor

FRECUENCIA DE FALLAS	
RANGO	VALOR
Mayor a 5 fallas anuales	4
Hasta 5 fallas anuales	3
2 - 3 falla anual	2
0 - 1 fallas anuales	1

2.3.1.3 MATRIZ DE CRITICIDAD

La matriz de criticidad aplicada es una tabla que permite identificar el nivel de criticidad de una maquina en función de la frecuencia y las consecuencias, cada eje compone una de las dos variables. Los valores correspondientes a cada variable son obtenidos de acuerdo al procedimiento explicado en las tablas de frecuencia y consecuencias, mediante esta tabla se clasifica a los equipos en tres niveles, alta, media y baja criticidad. Cada nivel posee un rango de valores determinado. [6]

FRECUENCIA	4	MC	MC	AC	AC	AC
	3	MC	MC	MC	AC	AC
	2	BC	BC	MC	AC	AC
	1	BC	BC	BC	MC	AC
		10	20	30	40	50
CONSECUENCIAS						
			BAJA CRITICIDAD		(BC)	
			MEDIA CRITICIDAD		(MC)	
			ALTA CRITICIDAD		(AC)	

Figura 2. 4 Matriz de criticidad FUENTE: Autor

2.3.2 CRITERIO DE EVALUACIÓN DE PARÁMETROS

Se aplica la teoría de la criticidad basada en el riesgo mediante la evaluación en base a los factores ponderados a los equipos de la constructora COANDES asignados a su actual proyecto Hidrovictoria. Al ser equipos de características diferentes como se estableció en el apartado 2.3 se realizó una matriz para cada categoría, equipo mayor y maquinaria general.

Para la aplicación y evaluación de este método se tomó como referencia principal la información registrada en el reporte semanal de maquinaria que manejo la Superintendencia de Mantenimiento durante las 24 semanas del PRIMER SEMESTRE del año 2014, además se corroboró con la aportación del criterio técnico tanto del Jefe de Mantenimiento y del Supervisor de Obras residente en el proyecto.

El reporte semanal consta de varios formatos, es elaborado por el Supervisor de Obra residente en el proyecto en base a los formatos de parte diario de maquinaria y solicitud de trabajos mecánicos; posteriormente este informe es auditado y registrado por el Jefe de Mantenimiento en las oficinas centrales de la empresa. Por esta razón se constituyen en un recurso muy fiable para la extracción de datos históricos de la maquinaria, los elementos que contiene el reporte semanal permiten conocer los fallos de los equipos; en los anexos se podrá verificar un ejemplo de cada uno de ellos:

- Parte diario de maquinaria (ANEXO A1)
- Registro de mantenimiento de maquinaria (ANEXO A2)
- Registro de gastos (ANEXO A3)

2.3.3 FORMATOS DE EVALUACIÓN DE CRITICIDAD

La información se registró y resumió dentro de un formato que es parte de la propuesta de mejora de mantenimiento. En este formato se muestra detalladamente tanto resultados parciales como totales de cada una de las variables ponderadas, impacto operacional (IO), flexibilidad operacional (FO), costo de mantenimiento (CM) e impacto sobre la seguridad y el medio ambiente (ISA).

Cada formato arroja un resultado numérico de criticidad el cual será evaluado dentro de la matriz de criticidad. A continuación se encuentran los dos formatos implementados.

Tabla 2. 4 Formato de Análisis de Criticidad. Equipo Mayor Coandes. Fuente: Autor

 COANDES Cia. Ltda		ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE EQUIPOS							
		Equipo CATEGORÍA: Mayor				UBICACIÓN: Hidrovictoria			
		FACILITADOR: David Arévalo							
CÓD.	DETALLE	MARCA	FACTOR DE PONDERACIÓN						CRITICIDAD
			FF	IO	FO	CM	ISA	C	
312	Bomba Hormigón	Putzmeister	2	7	2	1	5	20	40
067	Compresor	Sullair	2	7	2	1	5	20	40
014	Compresor	Kaishan	2	7	2	1	5	20	40
709	Compresor	Doosan / Ingersoll Rand	4	7	2	1	5	20	80
553	Generador / Torre de Iluminación	Wacker Neuson	1	4	4	2	8	26	26
1005	Perforador Portátil	Fambition	2	4	4	2	5	23	46

Tabla 2. 5 Formato de Análisis de Criticidad. Maquinaria General Coandes. Fuente: Autor

		ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE EQUIPOS							
		Maquinaria CATEGORÍA: General				UBICACIÓN: Hidrovictoria			
COANDES Cia. Ltda		FACILITADOR: David Arévalo							
CÓD.	DETALLE	MARCA	FACTOR DE PONDERACIÓN						CRITICIDAD
			FF	IO	FO	CM	ISA	C	
201	Cargadora de Ruedas	John Deere	2	4	2	1	3	12	24
001	Cargadora para túnel	Fambition	4	7	4	2	5	35	140
134	Dumper	Terex	4	7	4	2	3	33	132
217	Minicargadora	Caterpillar	2	4	2	1	5	14	28
218	Minicargadora	Caterpillar	2	4	1	1	3	8	16
971	Minicargadora	Hyundai	4	7	2	2	5	21	84
216	Minicargadora	Caterpillar	2	4	1	1	3	8	16
326	Motomixer	Fiori	3	7	2	2	3	19	57
240	Retroexcavadora	Caterpillar	2	4	1	1	3	8	16
367	Retroexcavadora	Caterpillar	2	4	1	1	3	8	16
283	Rodillo Doble Tambor	Dynapac	1	7	2	2	3	19	19
659	Track Drill	Fambition	3	7	2	2	3	19	57
251	Tractor Oruga	Caterpillar	2	4	1	2	1	7	14

2.3.4 MATRIZ DE CRITICIDAD DE EQUIPOS COANDES

Tras la ponderación y evaluación de los parámetros de criticidad, catalogamos los mismos dentro de la matriz de criticidad. Según la puntuación obtenida en cada uno de los dos parámetros, cada equipo representado por su código caerá dentro de una casilla correspondiente al nivel de riesgo alcanzado por el mismo.

2.3.4.1 MAQUINARIA GENERAL

La matriz de criticidad mostrada en la figura 2.3, aplicada a la maquinaria general nos presentan tres equipos en el nivel muy crítico, dos en la escala media de criticidad y ocho en la línea de bajo riesgo.

FRECUCENCIA	4		COD 971	COD 001, COD 134		
	3		COD 326, COD 659			
	2	COD 201, COD 217, COD 216, COD 240, COD 251				
	1	COD 218, COD 367	COD 283			
		10	20	30	40	50
	CONSECUENCIAS					
			BAJA CRITICIDAD		(BC)	
			MEDIA CRITICIDAD		(MC)	
			ALTA CRITICIDAD		(AC)	

Figura 2. 5 Matriz de Criticidad Maquinaria General Coandes. FUENTE: Autor

Tabla 2. 6 Resumen de Resultados de Criticidad Maquinaria General. FUENTE: Autor

CÓD.	DETALLE	MARCA	VALOR	NIVEL
001	Cargadora para túnel	Fambition	140	Alta Criticidad
134	Dumper	Terex	132	Alta Criticidad
971	Minicargadora	Hyundai	52	Alta Criticidad
326	Motomixer	Fiori	38	Media Criticidad
659	Track Drill	Fambition	38	Media Criticidad
201	Cargadora de Ruedas	John Deere	24	Baja Criticidad
217	Minicargadora	Caterpillar	20	Baja Criticidad
283	Rodillo Doble Tambor	Dynapac	19	Baja Criticidad
218	Minicargadora	Caterpillar	16	Baja Criticidad
216	Minicargadora	Caterpillar	16	Baja Criticidad
240	Retroexcavadora	Caterpillar	16	Baja Criticidad
367	Retroexcavadora	Caterpillar	16	Baja Criticidad
251	Tractor Oruga	Caterpillar	14	Baja Criticidad

2.3.4.2 EQUIPO MAYOR

Observando la figura 2.4, vemos que el equipo general presenta una maquina en el nivel altamente crítico, cuatro máquinas dentro del rango medio de criticidad y una máquina de criticidad baja.

FRECUENCIA	4		COD 709			
	3					
	2		COD 312, COD 067, COD 014, COD 1005			
	1		COD 553			
		10	20	30	40	50
CONSECUENCIAS						
			BAJA CRITICIDAD		(BC)	
			MEDIA CRITICIDAD		(MC)	
			ALTA CRITICIDAD		(AC)	

Figura 2. 6 Matriz de Criticidad Equipo Mayor Coandes FUENTE: Autor

Tabla 2. 7 Resumen de Resultados de Criticidad Equipo Mayor FUENTE: Autor

CÓD.	DETALLE	MARCA	CRITICIDAD	NIVEL
709	Compresor	Doosan / Ingersoll Rand	80	Alta criticidad
1005	Perforador Portátil	Fambition	46	Media criticidad
312	Bomba Hormigón	Putzmeister	40	Media criticidad
067	Compresor	Sullair	40	Media criticidad
014	Compresor	Kaishan	40	Media criticidad
553	Generador / Torre de Iluminación	Wacker Neuson	26	Baja Criticidad

2.3.5 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD

Tras la evaluación de la criticidad de la maquinaria podemos categorizar a cada una de ellas dentro de una de las tres bandas de riesgo. Se verifica el punto principal que es identificar los equipos más críticos para aplicar en ellos el análisis de aceite. El 79% de los profesionales de la lubricación consideran que la criticidad de las maquinas es el factor más importante al seleccionar los equipos a incluir en el programa de análisis de lubricantes. [9]

2.3.5.1 CANTIDAD MAQUINAS POR NIVEL DE CRITICIDAD

Excluyendo la categorización entre equipo mayor y maquinaria general, el estudio arroja la cantidad de equipos en cada banda mostrada en la figura 2.5. Tenemos un 21 % de maquinaria dentro del rango altamente crítico, un 31% dentro del moderado y un 48 % dentro del rango bajo.

BANDA / NIVEL	CANTIDAD DE EQUIPOS	PORCENTAJE %
Alta Criticidad	4	21.05
Media Criticidad	6	31.58
Baja Criticidad	9	47.37

Figura 2. 7 Numero de equipos por nivel de criticidad. FUENTE: Autor

2.3.5.2 IMPACTO DE LA MAQUINARIA DE ALTA CRITICIDAD

La cantidad de máquinas por banda de criticidad es un indicador importante pero no permite conocer el la afectación real a la confiabilidad operacional que generan las maquinas más críticas. Con el fin de conocer el peso real dentro de la criticidad global de los equipos catalogados como nivel alto se aplica el Principio de Pareto.

El análisis de Pareto es una comparación cuantitativa y ordenada de elementos o factores según su contribución a un determinado efecto. El principio de Pareto afirma que en todo grupo de elementos o factores que contribuyen a un mismo efecto, unos pocos son los responsables de la mayor parte de dicho efecto. [8]

Considerando este principio se aplica un diagrama de Pareto siendo cada factor la criticidad particular de cada equipo. Este análisis si bien difiere de la concepción

original de sistema 80-20 del principio de Pareto, nos permite en un enfoque inverso al original hallar para las 4 causas mayores (maquinas en la banda de criticidad alta) el porcentaje de efectos (criticidad) que estas acumulan. Esto en vez de buscar cuantas causas permite el 80% de los efectos.

Aplicado al problema de la criticidad de la maquinaria que compete este trabajo, nos permitirá conocer cuál es el peso real de los equipos altamente críticos, dentro de la criticidad global.

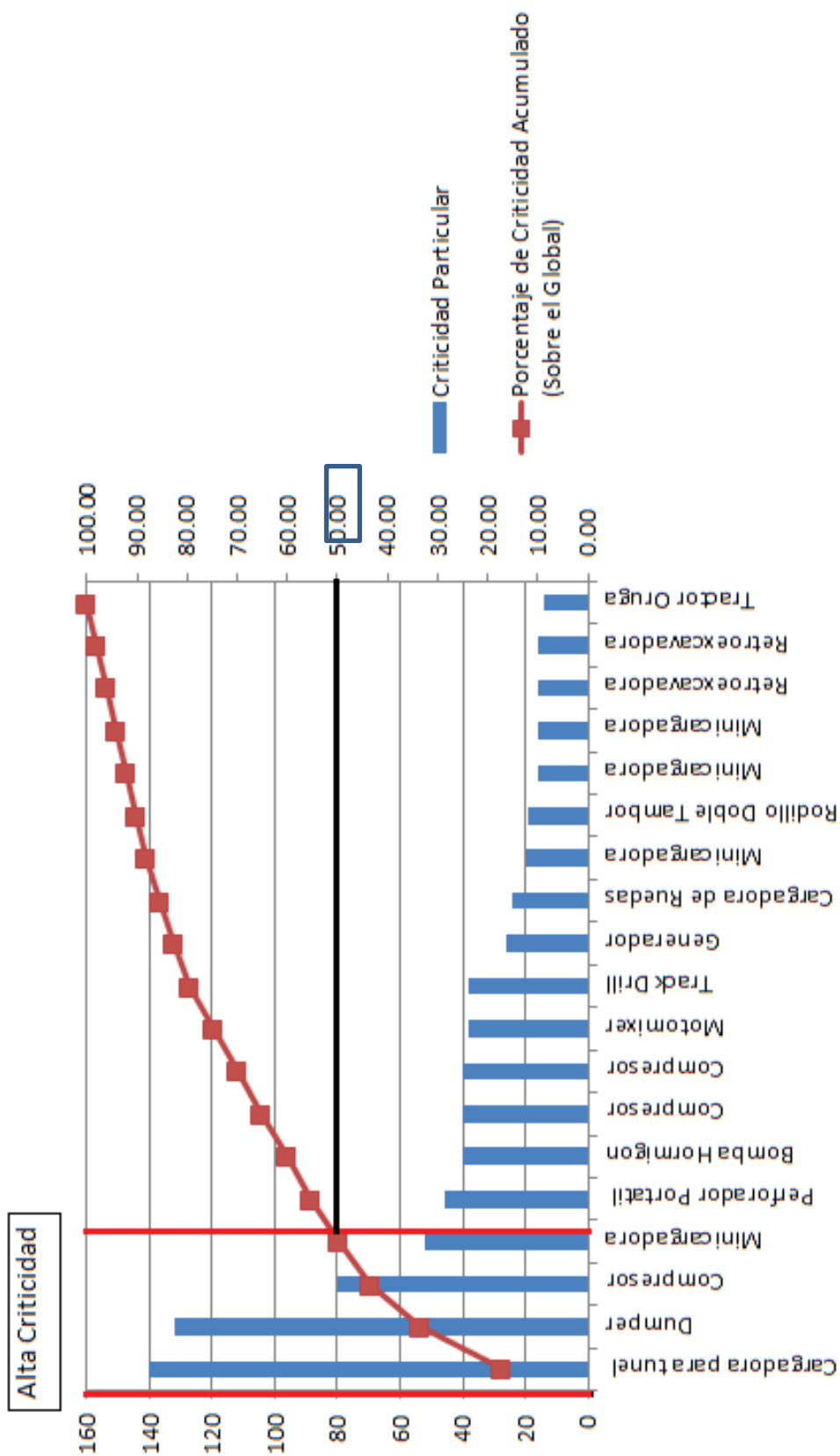
Tabla 2. 8 Análisis de Pareto. Criticidad de la Maquinaria Pesada. FUENTE: Autor

CÓD.	DETALLE	VALOR CRITICIDAD	% DEL TOTAL	% ACUMULADO DEL TOTAL
001	Cargadora para túnel	140	17.22	17.22
134	Dumper	132	16.24	33.46
709	Compresor	80	9.84	43.30
971	Minicargadora	52	6.40	49.69
1005	Perforador Portátil	46	5.66	55.35
312	Bomba Hormigón	40	4.92	60.27
067	Compresor	40	4.92	65.19
014	Compresor	40	4.92	70.11
326	Motomixer	38	4.67	74.78
659	Track Drill	38	4.67	79.46
553	Generador	26	3.20	82.66
201	Cargadora de Ruedas	24	2.95	85.61
217	Minicargadora	20	2.46	88.07
283	Rodillo Doble Tambor	19	2.34	90.41
218	Minicargadora	16	1.97	92.37
216	Minicargadora	16	1.97	94.34
240	Retroexcavadora	16	1.97	96.31
367	Retroexcavadora	16	1.97	98.28
251	Tractor Oruga	14	1.72	100.00
		813	100.00	

Como se observa en la Figura 2.7, el peso en porcentaje de estas cuatro máquinas alcanza el 50% de la criticidad global. Esto quiere decir que la confiabilidad operacional de la maquinaria de Coandes está comprometida a la mitad tan solo por los eventuales fallos que se den en estas cuatro máquinas.

De este análisis se concluye también, que si bien cuantitativamente el grupo altamente critico corresponde solo al 21.05 % del universo de máquinas de Coandes. Cualitativamente hablando este grupo representa el 50% de las posibilidades de parada en la producción. Siendo esto razón justa y suficiente para aplicar sobre ellas el recurso técnico del análisis de aceite.

Figura 2. 8 Diagrama de Pareto. Criticidad de la maquinaria Pesada y Peso Real en la Criticidad Global de los equipos de Alta Criticidad. FUENTE: Autor



2.4 EQUIPOS CRÍTICOS

En este punto se presenta la información técnica de la máquina y de su motor de combustión interna. Es importante acotar que para estos tipos de maquinaria pesada generalmente la casa fabricante de cada máquina usa motores diseñados por otra marca. Esto por cuanto existen tantas maquinas como usos de campo se requieran, pero la necesidad de un motor de combustión interna que aporte el movimiento es universal a todas ellas. Es así que los motores que emplean estas máquinas son de tres marcas distintas Kubota, Deutz y Cummins, todos ellos de ciclo diésel.

También se presenta la ficha de estado operativo de cada equipo. Para realizar esta ficha se aplicó una lista de chequeo (ANEXO A4) en donde se evaluó cada sistema siendo estos, eléctrico, hidráulico, tren de potencia, latonería, accesorios y herramientas, elementos externos dejando una categoría especial para depósitos y filtros por ser de especial atención para el análisis de aceite. Dentro de cada sistema se pondero según la funcionalidad de cada elemento asignándole un (1) si está en buen estado o un (0) si esta averiado u obsoleto. Finalmente se evalúa el estado operativo de la maquina mediante una evaluación porcentual de las partes a punto.

2.4.1 CARGADORA DE TÚNEL FAMBITION

2.4.1.1 DESCRIPCIÓN

La cargadora de túnel se utiliza principalmente en minas subterráneas, particularmente para transportar la roca excavada. Puede también ser utilizado para la construcción de túneles de ferrocarriles, de carreteras, y de conservación y conducción del agua. Es particularmente conveniente para condiciones de trabajo pobres, cuando la superficie del sitio del funcionamiento es estrecha, baja y fangosa.

2.4.1.2 FICHA TÉCNICA DE MAQUINA

Tabla 2. 9 Ficha técnica Cargadora de Túnel. FUENTE: Anexo A5. Anexo A6

	FICHA TÉCNICA CARGADORA DE TÚNEL	
	MARCA	FAMBITION
	MODELO	FAM-L2
	AÑO	2012
GENERALES		
FUERZA DE ARRANQUE	KN	102
FUERZA DE TRACCIÓN	KN	130
PESO EN SERVICIO	Kg (Lb)	12500 (27500)
MAX. VELOCIDAD DE DESPLAZAMIENTO	Km/h (mph)	26.7 (16)
MOTOR		
MARCA	-	DEUTZ
MODELO	-	F6L914
NUMERO DE CILINDROS	-	6
DESPLAZAMIENTO	CU in (L)	395 (6,5)
VELOCIDAD NOMINAL	rpm	2500
MÍNIMO RALENTÍ	rpm	650
POTENCIA NOMINAL	HP	123.6
MÁXIMO TORQUE	N.m(Lb.ft)	400 (295)
ELECTRICIDAD	V	12
CAPACIDAD DEL ACEITE DEL MOTOR		
REFRIGERANTE	-	AIRE
MAQUINARIA GENERAL		CÓDIGO 001

2.4.1.3 ESTADO OPERATIVO

Tabla 2. 10 Ficha de estado operativo Cargadora de Túnel. FUENTE: Autor

FICHA DE ESTADO OPERATIVO			
MÁQUINA	Cargadora de Túnel	AÑO	2012
MARCA	Fambition	CÓDIGO	001
FECHA	16-Sep-14		
No	SISTEMA	NUMERO ELEMENTOS VERIFICADOS	ELEMENTOS A PUNTO
1	Sistema Eléctrico	9	8
2	Elementos Externos	5	4
3	Depósitos y Filtros	7	6
4	Herramientas Carga	3	1
5	Llantas	4	4
6	Latonería	5	3
7	Sistema Hidráulico	6	4
8	Tren de Fuerza Motriz	5	5
	% PARTES A PUNTO	# PARTES A PUNTO #PARTES VERIFICADAS	79.55%
OBSERVACIONES	Motor reparado. Cabezote nuevo calibrado. Transmisión reparada. La máquina se reintegra al trabajo tras un mantenimiento general del motor.		

2.4.2 DUMPER TEREX

2.4.2.1 DESCRIPCIÓN

El Dumper es un vehículo utilizado en la construcción destinado al transporte de materiales ligeros, y consta de un volquete, tolva o caja basculante, para su descarga, bien hacia delante o lateralmente, mediante gravedad o de forma hidráulica. Además posee una tracción delantera o de doble eje, siendo las traseras direccionales. Regularmente es usado para el traslado de materiales en procesos mineros o de construcción.

2.4.2.2 FICHA TÉCNICA DE MAQUINA

Tabla 2. 11 Ficha técnica Dumper. FUENTE: Anexo A7. Anexo A8

	FICHA TÉCNICA DUMPER	
	MARCA	TEREX
	MODELO	PS3000
	AÑO	2001
GENERALES		
CARGA ÚTIL	Kg (Lb)	3000 (6600)
PESO EN VACÍO	Kg (Lb)	2260 (4972)
CAPACIDAD PARA AGUA	Ltr	1250
MAX. VELOCIDAD DE DESPLAZAMIENTO	Km/h (mph)	19 (11,8)
MOTOR		
MARCA	-	KUBOTA
MODELO	-	V2203M
NUMERO DE CILINDROS	-	4
DESPLAZAMIENTO	CU in (L)	134,1 (2,2)
VELOCIDAD MÁXIMA	rpm	2800
VELOCIDAD NOMINAL	rpm	2400
POTENCIA NOMINAL	HP	45
ELECTRICIDAD	V	12
CAPACIDAD DEL ACEITE DE MOTOR	Gal (L)	2,01 (7,6)
REFRIGERANTE	-	AGUA
CAPACIDAD DEL TANQUE DE COMBUSTIBLE	Gal (L)	6,2 (37)
MAQUINARIA GENERAL		CÓDIGO 134

2.4.2.3 ESTADO OPERATIVO

Tabla 2. 12 Ficha de estado operativo Dumper. FUENTE: Autor

FICHA DE ESTADO OPERATIVO			
MÁQUINA	Dumper	AÑO	2001
MARCA	Terex	CÓDIGO	134
FECHA	16-Sep-14		
No	SISTEMA	NUMERO ELEMENTOS VERIFICADOS	ELEMENTOS A PUNTO
1	Sistema Eléctrico	11	7
2	Elementos Externos	9	7
3	Depósitos y Filtros	9	8
4	Herramientas Carga	3	3
5	Llantas	4	4
6	Latonería	7	6
7	Sistema Hidráulico	6	6
8	Tren de Fuerza Motriz	5	5
	% PARTES A PUNTO	$\frac{\# \text{ PARTES A PUNTO }}{\# \text{ PARTES VERIFICADAS }}$	86.48%
OBSERVACIONES	Avería en el motor de arranque reparada. Filtro hidráulico reemplazado recientemente. Pines de tolva averiados. Bomba de inyección posible fallo.		

2.4.3 COMPRESOR

2.4.3.1 DESCRIPCIÓN

El Compresor es una máquina que suministra aire a elevada presión y con ello proporciona potencia a herramientas neumáticas. El aire comprimido que se obtiene se transporta por mangueras hacia la maquina cliente. En la minería o en construcción se usan en tareas donde se pueden encontrar equipos portátiles y estacionarios.

Los compresores usados en construcción y perforación deben resistir condiciones de humedad, presión, temperatura e incluso explosiones. Son usados preferentemente en obras que requieren maquinarias de perforación, taladros, martillos, transporte de materiales en la mina y extracción y limpieza de aire.

2.4.3.2 FICHA TÉCNICA DE MAQUINA

Tabla 2. 13 Ficha técnica Compresor. FUENTE: Anexo A9

FICHA TÉCNICA COMPRESOR		
		
	MARCA	DOOSAN / INGERSOLL RAND
	MODELO	XP375WCU
	AÑO	2012
GENERALES		
ENTREGA DE AIRE LIBRE	cfm (m3/min)	375 (10,6)
FUNCIONAMIENTO NOMINAL DE PRESIÓN	psig (bar)	125 (8,6)
RANGO DE PRESIÓN	psig (bar)	80-150 (5,5-10,3)
TAMAÑO DE LA SALIDA DESCARGA DE AIRE	in (mm)	1,25 (31,8)
MOTOR		
MARCA	-	CUMMINS
MODELO	-	4B3.9TAA
NUMERO DE CILINDROS	-	4
DESPLAZAMIENTO	CU in (L)	283 (4,6)
VELOCIDAD NOMINAL	rpm	2200
RALENTÍ	rpm	1500
POTENCIA NOMINAL	HP	125
ELECTRICIDAD	V	12
CAPACIDAD DEL ACEITE DE MOTOR	Gal (L)	2,5 (9,5)
CAPACIDAD LÍQUIDO REFRIGERANTE RADIADOR	Gal (L)	4,5 (17)
CAPACIDAD DEL TANQUE DE COMBUSTIBLE	Gal (L)	60 (227,1)
EQUIPO MAYOR		CÓDIGO 709

2.4.3.3 ESTADO OPERATIVO

Tabla 2. 14 Ficha de estado operativo Compresor. FUENTE: Autor

FICHA DE ESTADO OPERATIVO			
MÁQUINA	Compresor	AÑO	2012
MARCA	Doosan/Ingersoll Rand	CÓDIGO	709
FECHA	16-Sep-14		
No	SISTEMA	NUMERO ELEMENTOS VERIFICADOS	ELEMENTOS A PUNTO
1	Sistema Eléctrico	8	8
2	Elementos Externos	7	7
3	Depósitos y Filtros	8	7
4	Accesorios	2	2
5	Llantas	2	2
6	Latonería	2	1
7	Sistema Neumático	4	4
8	Tren de Fuerza Motriz	5	4
	% PARTES A PUNTO	$\frac{\# \text{ PARTES A PUNTO}}{\# \text{ PARTES VERIFICADAS}}$	92.11%
OBSERVACIONES	<i>Bomba de combustible reemplazada recientemente. Cigüeñal alterno.</i>		

2.4.4 MINICARGADORA

2.4.4.1 DESCRIPCIÓN

La Minicargadora compacta es una máquina de construcción que consta de un chasis rígido con cabina cubierta desmontable sobre el cual se monta una cuchara frontal de pequeña capacidad. El motor diésel de esta máquina suele estar acoplado en la parte trasera, en el punto de unión entre los brazos de la cuchara y el chasis.

Cuenta con un sistema hidráulico para la elevación de la cuchara o para permitir el montaje de otros accesorios. El chasis se desplaza sobre un sistema de orugas o de neumáticos, siendo más habitual este último con una distribución de cuatro neumáticos de igual diámetro repartidos equitativamente a los lados.

2.4.4.2 FICHA TÉCNICA DE MAQUINA

Tabla 2. 15 Ficha técnica Mini Cargadora. FUENTE: Anexo 2.7



FICHA TÉCNICA MINICARGADORA

MARCA	HYUNDAI
MODELO	HSL850-7A
AÑO	2013

GENERALES

CAPACIDAD NOMINAL	Kg (Lb)	860 (1892)
CARGA DE VUELCO	Kg (Lb)	1718 (3780)
PESO EN SERVICIO	Kg (Lb)	3355 (7381)
MAX. VELOCIDAD DE DESPLAZAMIENTO	Km/h (mph)	11.4 (7.1)

MOTOR

MARCA	-	KUBOTA
MODELO	-	V3307-T
NUMERO DE CILINDROS	-	4
DESPLAZAMIENTO	CU in (L)	203,3 (3,3)
VELOCIDAD MÁXIMA	rpm	2600
VELOCIDAD NOMINAL	rpm	2400
POTENCIA NOMINAL	HP	75
ELECTRICIDAD	V	12
CAPACIDAD DEL ACEITE DE MOTOR	Gal (L)	2,91 (11)
REFRIGERANTE	-	AGUA
CAPACIDAD DEL TANQUE DE COMBUSTIBLE	Gal (L)	16 (60)

MAQUINARIA GENERAL

CÓDIGO 971

2.4.4.3 ESTADO OPERATIVO

Tabla 2. 16 Ficha de estado operativo Minicargadora. FUENTE: Autor

FICHA DE ESTADO OPERATIVO			
MÁQUINA	Minicargadora	AÑO	2013
MARCA	Hyundai	CÓDIGO	971
FECHA	16-Sep-14		
No	SISTEMA	NUMERO ELEMENTOS VERIFICADOS	ELEMENTOS A PUNTO
1	Sistema Eléctrico	11	9
2	Elementos Externos	8	8
3	Depósitos y Filtros	7	7
4	Herramientas Carga	3	2
5	Llantas	4	2
6	Latonería	7	6
7	Sistema Hidráulico	6	4
8	Tren de Fuerza Motriz	5	5
	% PARTES A PUNTO	$\frac{\# \text{ PARTES A PUNTO}}{\# \text{ PARTES VERIFICADAS}}$	84.31%
OBSERVACIONES	Reparación de panel de control (Bloqueo) reciente. Brazo hidráulico averiado. Llantas traseras en mal estado.		

3. ANÁLISIS DEL ACEITE USADO EN BASE A LA METODOLOGÍA SACODE.

3.1 ANÁLISIS DE ACEITE

Al requerir un análisis de aceite del motor de combustión interna, por lo general se recurre al análisis (AA) que viene a ser una excelente herramienta de monitoreo de condición y ayuda a aumentar la confiabilidad de la maquinaria y equipo. El AA radica en realizar una serie de pruebas de laboratorio que se usan para evaluar el estado de los lubricantes usados. Al analizar los resultados del estudio se obtiene la información suficiente que permite tomar medidas en cuanto a la necesidad de cambiar el lubricante o de someterlo a un proceso de filtración o de diálisis. Gracias a este análisis también se pueden diagnosticar las condiciones de desgaste del equipo y de sus respectivos componentes. Es no sólo una tecnología a usarse en el mantenimiento predictivo sino para la búsqueda de causas-raíz de falla y, con ello, una valiosa piedra angular del mantenimiento proactivo.

Aunque en muchos casos, a pesar de que las empresas tienen un programa de análisis de aceite ya establecido, la mayoría de los resultados obtenidos no son precisamente los óptimos posibles; todo esto debido a varias posibles causas:

- Puertos de muestreo incorrectos
- Toma de muestras no-representativas
- Procedimientos de muestreo inadecuados
- Botellas de muestreo no lo suficientemente limpias
- Envío no-inmediato de muestras para su análisis
- Pruebas inadecuadas
- Preparación inadecuada de la muestra en el laboratorio
- Uso de reactivos y solventes contaminados
- Instrumentos no-calibrados
- Personal analista no-calificado
- Errónea interpretación de los resultados de análisis

Todos estos puntos significan una gran pérdida de tiempo, recursos y energía. Especial énfasis tiene el último punto, errónea interpretación de los resultados del análisis, ya que se requiere aportar a todas las personas encargadas del monitoreo de las muestras dentro de la planta, las guías necesarias para la realización de una correcta interpretación, y por ende obtener el máximo beneficio del análisis AA; esto a través del seguimiento sistemático de un método de interpretación llamada la técnica SACODE.

3.2 TÉCNICA SACODE

Es una técnica que se realiza al hacer un seguimiento sistematizado de un método de interpretación, da las bases necesarias para realizar una correcta interpretación de los resultados del Análisis de Aceite.

La sigla SACODE indica el orden con el cual se revisarán las 3 categorías del AA: SA para “salud”, CO para “contaminación” y DE para “desgaste”.

3.2.1 METODOLOGÍA

Dentro de todo análisis lo más importante es considerar mediante la lectura de los datos toda la información referente al equipo que proporcione el reporte de análisis del aceite. También se debe prestar atención y tomar nota de todos los detalles referentes al muestreo, saber por dónde fue tomada la muestra, bajo qué condiciones se lo hizo, conocer si la maquina estaba en operación o no, si la muestra fue tomada después de par el equipo, si la maquina estuvo en desuso durante mucho tiempo, o los detalles de las herramientas con las que se extrajo la muestra y posteriormente donde fueron almacenada. Mucha de esta información no suele estar presente, sin embargo, se deberá tomar en cuenta cada uno de los datos que se tengan disponibles con la finalidad de tomarla en cuenta al momento de obtener las conclusiones finales.

Para un mejor desempeño del análisis utilizando la técnica SACODE se ha implementado un esquema de trabajo:

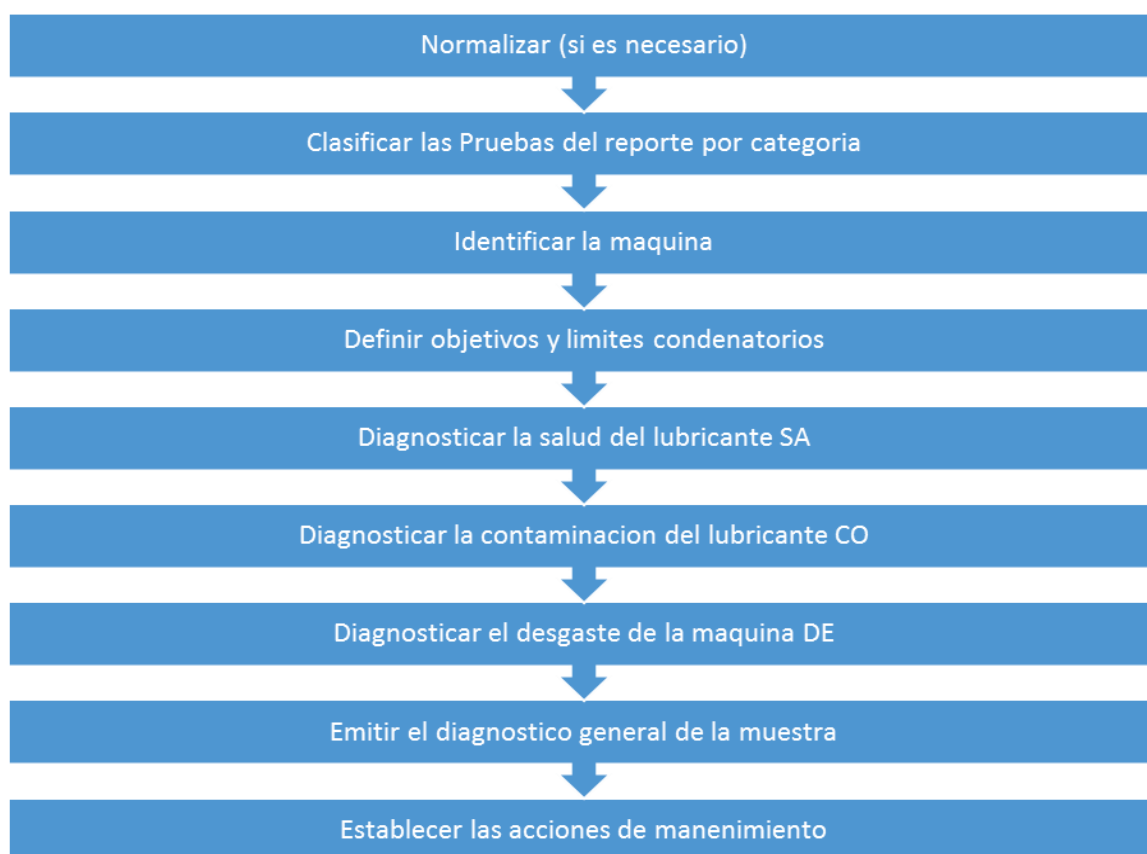


Figura 3. 1 Esquema de Trabajo. Técnica SACODE
FUENTE: docs.micanaldepanama.com/congreso

3.2.2 NORMALIZACIÓN

Se encuentran dos casos en las que se debe normalizar los datos originales del Análisis de Aceite: cuando las muestras han sido recopiladas en intervalos de tiempo distintos al objetivo y cuando se han hecho compensaciones de aceite en el motor entre muestras. Conviene hacer estos ajustes para evitar llegar a conclusiones erróneas.

3.2.3 IDENTIFICACIÓN DE LA MÁQUINA

Se tomaría como una observación general de las diferentes maquinas en las cuales se está realizando el análisis, tomando en cuenta cada una de las características que nos servirán para el análisis y posteriores conclusiones. En este caso se debe conocer como datos principales, la marca de las maquinas, su modelo, de ser preciso el número de la serie a la que pertenece, el año de fabricación de dicha máquina.

Dentro de cada máquina se debe conocer los datos generales de la misma, que vendrían a ser las características más importantes dentro del trabajo que desempeñan. Ejemplo, en caso de un compresor, donde se debería conocer cuál es la entrega del aire libre, el funcionamiento nominal de presión, el rango de presión. Todos estos datos serán de ayuda al momento de saber en qué condiciones está trabajando cada una de las maquinas, a que cargas están siendo sometidas, y cuáles serían los riesgos de contaminación a los que estarían expuestos por el trabajo que realizan.

El punto más importante de conocimiento de la maquinaria es el motor, en el cual se encuentra el aceite que va a ser objeto del análisis; por lo que los datos y características del motor de cada una de las maquinas son imprescindibles a la hora de realizar la investigación y posterior análisis. Datos como la marca del motor, modelo del mismo, número de cilindros, desplazamiento, velocidad nominal. Son fundamentales a la hora de realizar las conclusiones finales y por lo tanto de las futuras soluciones de los problemas que encontremos.

3.2.4 DEFINIR OBJETIVOS Y LÍMITES CONDENATORIOS.

El análisis del aceite de un motor tiene como objetivo llegar a conocer si en dicho aceite se encuentran partículas de ciertos elementos, los cuales indicaran los posibles daños que pueda tener el motor. Entonces se debe conocer cuáles son los límites permitidos de estas partículas en el aceite para llegar a diagnosticar si verdaderamente existe un daño o no en el motor, o si el aceite todavía se encuentra en óptimas condiciones para el correcto funcionamiento del motor.

- Dato normal: dentro del rango normal, es decir entre los límites críticos.
- Dato anormal: también llamados “pivotes” que se utilizaran como puntos base de referencia para la calificación del reporte. Estos se encuentran fuera del límite crítico.
- Dato de tendencia, se analiza si está dentro de límites normales o críticos. Pero se analiza especialmente al ser un promedio de los muestreos; nos permite una idea global del estado (incremento o de disminución) de el parámetro particular a lo largo del tiempo. A partir de él se puede definir una acción; en caso de existir un dato anormal o pivote que evidencie un problema se compara con el dato de tendencia a fin de decidir si es necesario o no la aplicación de la acción. Pivotes aislados pueden ocasionarse por problemas puntuales de elementos del motor o por condiciones de trabajo de estación. Maquinas con pivotes que además evidencien parámetros de tendencia obligatoriamente evidenciaran problemas más complejos que pueden ser catastróficos.

3.2.4.1 LÍNEA BASE

Son los componentes y características originales del aceite nuevo que se utilizará en la lubricación del equipo como viscosidad, el TBN, algunos metales. Es esencial contar con la suficiente información de la línea base para poder implementar un programa de análisis de aceite efectivo.

3.2.4.2 LIMITE CRÍTICO

Apuntan una condición por sobre la cual se tiene una situación crítica y se requiere realizar una acción inmediata. Además nos permiten identificar para un respectivo parámetro un dato anormal. En el caso de algunos parámetros tales como salud existen límites críticos máximos y mínimos; en caso de desgaste y contaminación generalmente suele existir un único límite máximo.

3.2.5 PARÁMETROS DE SALUD (SA)

Aquí se encuentran presentes aquellos cambios relacionados con el aceite en sí, por ejemplo: viscosidad, contenido de aditivos (P, Zn, Ca, Mg), sulfatación, oxidación, nitración, punto de inflamación, índice de viscosidad, TBN.

3.2.5.1 NUMERO BÁSICO TOTAL

El TBN viene a ser la reserva alcalina o básica de los aceites para neutralizar los ácidos procedentes de la combustión y de la propia oxidación del aceite debido a las elevadas temperaturas. El azufre en el combustible es transformado en productos ácidos, durante su combustión. Resulta lógico pensar que la reserva alcalina del aceite deberá ser mayor cuanto mayor contenido de azufre contenga el combustible, ya que con ello la cantidad de compuestos ácidos formados será mayor. [2]

Bajos niveles de TBN pueden conllevar a una corrosión ácida, esto aumenta la tasa de desgaste del motor y reduce la vida útil de sus componentes. Niveles altos de número base, pueden formar depósitos en el motor. Se recomienda el uso de aceites con TBN entre 50-55 cuando se opera con combustibles pesados con niveles de azufre >2% por peso.

3.2.5.2 VISCOSIDAD

Esta es la característica más importante de un aceite desde el punto de vista de la lubricación y para casi todas las aplicaciones prácticas, ya que de su capacidad física depende la lubricación, esto viene a ser, fijar sus pérdidas por fricción, el rendimiento mecánico, la capacidad de carga, y el gasto del fluido en condiciones determinadas de velocidad, temperatura, cargas, y dimensiones del elemento a calcular.

La viscosidad del aceite de motor se mide a 100°C y debería mantenerse dentro de los rangos establecidos por el API para el grado utilizado. Un SAE 40 o un SAE 15W-40 debería mantenerse entre 12.5 cSt y 16.3 cSt a 100°C.

La pérdida de viscosidad causará mayor desgaste de cojinetes (plomo, estaño, bronce) por falta de lubricación hidrodinámica. El aumento de viscosidad puede causar mayor desgaste de anillos y alta presión de aceite que puede abrir la válvula de alivio de presión del filtro de aceite y pasar aceite sucio al motor. Viscosidad alta causa alto desgaste de cojinetes por lo que demora en llegar en cada arranque.

Si bajó la viscosidad, las causas más probables pueden ser:

- Dilución con aceite más delgado, que puede ser aceite hidráulico, de transmisión, u otro, o por error del operario.
- Contaminación por combustible, problemas de inyectores, falta de termostato, viajes cortos, marcha en vacío, etc.
- Rotura o ruptura de polímeros utilizados para fabricar el aceite multigrado, por cizallamiento, que pueden ser por polímeros baratos, altas temperaturas o presiones o molienda entre los engranajes o anillos.
- Cizallamiento o rotura de aceite base. El aceite básico de baja calidad puede perder su viscosidad.

Si aumentó la viscosidad, las causas más probables pueden ser:

- Oxidación del aceite, a causa de alta temperatura, altas revoluciones o baja calidad de aceite básico.
- Cocción del aceite, por alta temperatura o baja calidad del aceite base.
- Contaminación por agua o glicol, por falla de empaquetadura de culata o perforación de camisas o bloque.
- Contaminación por tierra, que se da por falla del filtro de aire o perforaciones en el sistema de entrada de aire.
- Mezcla con un aceite más viscoso.

3.2.5.3 OXIDACIÓN Y NITRACIÓN

Junto con la viscosidad, la oxidación y nitración del aceite, son los parámetros básicos en el control de estado de los aceites utilizados en el motor, y aunque casi nunca se les asigna límites condenatorios, su evolución puede ser muestra de posibles problemas internos en el motor o sistemas auxiliares.

El aceite con el uso, y más debido a altas temperaturas que debe soportar, va degradándose, produciendo productos que contienen los grupos carbonilo C=O tales como ésteres, cetonas, o ácidos carboxílicos. Estos productos contribuyen a la acidificación del aceite y al consumo de la reserva alcalina del mismo. El efecto de una oxidación prolongada del aceite es un aumento de la viscosidad y su posible acción corrosiva debido a su acidificación. En teoría un proceso de oxidación se debería llevar a cabo de forma lenta y progresiva debido al deterioro normal del lubricante e uso, pero la presencia de metales de desgaste, actuando como

catalizadores en las reacciones de oxidación del aceite, y de componentes ácidos de la combustión provocan una degradación acelerada del mismo. [2]

El proceso de nitración resulta de la reacción del aceite con óxidos de nitrógeno (NO_x) producidos por la oxidación del nitrógeno atmosférico durante el proceso de combustión. El proceso de nitración causa un espesamiento del aceite formado barnices y lacas.

Los procesos de nitración y formación de materia carbonosa están relacionados con el tipo de mezcla empleado en la combustión; mezclas más ricas son utilizadas por el usuario para obtener mayor potencia, el consumo de combustible será mayor y se generara una mayor cantidad de materia carbonosa.

3.2.5.4 SULFATACIÓN

Esta se produce durante el proceso de combustión, cuando el azufre del combustible se oxida y se combina con agua para formar ácidos de base azufre. La oxidación del aceite provoca la formación de ácidos pero de naturaleza orgánica (sin sulfatos), en cambio la sulfatación tiene como consecuencia la formación de ácidos inorgánicos (con sulfatos formados al final del proceso de neutralización) los cuales tienen una mayor potencia corrosiva que los primeros.

3.2.6 PARÁMETROS DE CONTAMINACIÓN (CO)

Son cada uno de los contaminantes presentes en el lubricante, tales como: partículas de tierra y polvo (Si), agua, solventes, combustibles, materiales del proceso (cemento, plástico, etc.), otros aceites lubricantes, hollín, refrigerante, etc., todos estos dañinos para el motor y causaran desgaste. En el análisis del aceite los contaminantes vendrán expresados en partes por millón (ppm).

Las partículas más grandes ocasionan daño al entrar, rayando o lijando las camisas o el bloque. Después quedan atrapadas en el filtro de aceite. Las partículas de menor tamaño continúan circulando y dañando cojinetes, bujes, válvulas con sus guías y asientos, anillos y camisas en cada paso por el motor.

3.2.6.1 AGUA

La contaminación de aceite con agua se da por la condensación en el interior de los motores a causa de las bajas temperaturas o por aumento de la presión en el cárter y de las fugas internas en el sistema de refrigeración.

Si el número de moléculas de agua se incrementan en el aceite, este se satura tomando un aspecto turbio y agua libre aparece en el aceite. Productos de la corrosión también pueden contribuir a la formación de desperdicios sólidos y a la formación de picaduras en las superficies del metal. Los efectos de estas reacciones

son productos indeseables, tales como barnizado, laqueado, lodos, ácidos orgánico e inorgánicos, depósitos en las superficies y espesado del lubricante (polimerización).

El agua reduce la película lubricante e interfiere con la lubricación dejando las piezas susceptibles al desgaste abrasivo y adhesivo además de la fatiga. En áreas de presión las gotas de agua colapsan causando cavitación. Esta cavitación se ve como corrosión o picado de la superficie donde hay diferencias de presiones. Las burbujas de agua (o aire en caso de espuma por exceso de aceite en el cárter) llegan al punto de presión e implosión, causando grietas pequeñas o puntos microscópicos en la superficie. Cada vez que implosiona otra burbuja en el mismo lugar se agranda este punto. [10]



Figura 3. 2 Corrosión sobre cojinete debido a contaminación por agua.

Fuente: http://maquinasdebarcos.blogspot.com/2009/04/motores-diesel-causas-de-fallos-en-los_13.html

Evidentemente tomando en cuenta lo dicho anteriormente resulta obvio que se debe tomar acciones para tratar de minimizar este aspecto: [2]

- En primer lugar habrá que restringir las posibles entradas de agua al sistema.
- Se debe reconocer su presencia y tenerla en cuenta
- Se debe analizar su estado y concentración. Encontrando dentro de estos tres posibles estados: Agua disuelta, Agua emulsionada y Agua libre.

3.2.6.2 SILICIO (SI)

El Silicio se origina generalmente en el combustible pesado. En algunas ocasiones muchos de estos residuos del catalizador de las refinerías pueden estar presentes en el combustible y estos contaminan el aceite durante el trabajo. El incremento del contenido de silicio en una muestra de aceite repercute con mayor o menor efectividad en el desgaste del motor, su aumento se debe a varias causas pero la esencial en cuanto al desgaste, se debe a la introducción de polvo atmosférico que penetra en los motores durante la admisión en el proceso de funcionamiento. El Si también es utilizado como un antiespumante en los aceites de lubricación.

Si el motor no es nuevo, el silicio es tierra que entró por el filtro de aire o alguna parte del sistema de alimentación del aire. La tierra que ingresa actúa como lija y destroza las camisas, los anillos y todo donde existe fricción y entra en contacto con el aceite.

Un alto contenido de silicio requiere una revisión completa del sistema de entrada de aire. La causa principal de desgaste en los motores es el inadecuado soplado de filtros de aire, ya sea cuando no es necesario o con alta presión de aire comprimido. Un filtro sencillo nunca debería ser soplado ni golpeado para limpiarlo, debería ser cambiado. También hay que cuidar la limpieza del aceite al introducir del envase al motor. Muchas veces los embudos o bombas están sucios y contaminan el aceite durante el llenado. Además hay que cuidar de la contaminación por el medio ambiente. No hay que dejar abiertos los tapones por más tiempo que lo necesario porque el viento lleva polvo. [10]

3.2.7 PARÁMETROS DE DESGASTE (DE)

Para reducir el desgaste utilizando el análisis de aceite, tenemos que entender de qué partes del motor provienen esas partículas de desgaste. Existen muchos diseños de motores, utilizando variados materiales.

En general, los bujes y cojinetes de árbol de levas, martillo, pasadores y pistones son de cobre, mientras los cojinetes de bielas y bancada que reciben mayores fuerzas son de dos o tres metales. La última capa normalmente es de plomo y cromo para gastarse en el asentado del motor y dejar mejor circulación del aceite sin turbulencia.

3.2.7.1 METALES DE DESGASTE

Motor	Hierro	Cobre	Plomo	Aluminio	Silicio	Cromo	Estaño	Sodio	Potasio
Cojinetes		X	X	X			X		
Bujes		X		X			X		
Árbol de levas	X								
Refrigerante					X	X		X	X
Cigüeñal	X								
Camisa	X					X			
Válvula Escape	X					X			
Cojinetes anti-fricción	X					X			
Empaquetaduras					X				
Gasolina			X					X	
Carcasa	X			X					
Tierra					X				
Aditivo					X				
Enfriador de Aceite		X							
Bujes de bomba de aceite				X					
Bomba de aceite	X			X					
Pistones	X			X					
Anillos	X					X			
Volandas de empuje		X	X	X			X		
Engranajes de cadencia	X								
Turbo	X			X					
Guías de válvulas	X	X							
Tren de válvulas	X								
Bujes de bielas		X	X	X			X		
Bielas	X								

Figura 3. 3 Origen de las partículas metálicas por elemento en un motor. FUENTE: widman.biz

La concentración de los elementos en el aceite usado depende también de la composición de los elementos de motor y la calidad del combustible. Los metales de desgaste más frecuentes en el aceite son (Fe), (Cr), (Pb), (Cu) y (Sn). También hay pequeñas cantidades de (Al) y (Ni) presentes.

3.2.7.2 HIERRO (FE)

Usualmente la presencia de Hierro se da por la fricción entre las paredes de los cilindros, que pueden ser las camisas o el bloque mismo, y los anillos. Pero también puede ser del árbol de levas, el cigüeñal, las válvulas, los cojinetes, la bomba de aceite, los engranajes de la cadencia, el turbo, las guías de válvulas, o las bielas.

El hierro puede proceder del desgaste o herrumbre. El aceite contaminado en un motor por tierra, falta de viscosidad, o alto hollín, tendrá desgaste por contacto o falta de lubricación hidrodinámica. Si el aceite contiene agua, todas las piezas de hierro son sujetas a herrumbrarse. Si la herrumbre es severa, puede continuar después de corregir el problema hasta que el aceite logre controlarla. [11]

DESGASTE DE ANILLOS Y CILINDROS. Desde el instante en que el motor empieza a trabajar, los pistones suben y bajan, raspando los anillos contra las paredes de los cilindros. Si el aceite pierde su viscosidad, el desgaste es severo y si el aceite está contaminado, los contaminantes rayan las paredes. La mayor parte de esta lubricación es hidrodinámica dependiendo exclusivamente de la viscosidad para prevenir el desgaste. Cuando falla la lubricación hidrodinámica los anillos dependen de los aditivos anti-desgaste que proveen lubricación límite. El trabajo del anillo superior es barrer el aceite al bajar en el cilindro, dejando las paredes secas para la combustión.

DESGASTE DE LA BOMBA DE ACEITE. La bomba de aceite únicamente se puede desgastar si existe contaminación del aceite, nivel bajo de aceite, o nivel demasiado alto de aceite, que provoca espuma que se rompe en la bomba provocando cavitación y falta de lubricación.

OTRAS PIEZAS. El desgaste del cigüeñal, árbol de levas, válvulas y otras piezas afines no depende tanto de la carga o las presiones, sino la lubricación hidrodinámica y la contaminación. Un alto contenido de hollín o tierra causa desgaste severo de estas piezas.

3.2.7.3 CROMO (CR) Y NÍQUEL (NI)

El cromo viene de la camisa, las válvulas de escape, los anillos, y algunos cojinetes principalmente de su recubrimiento. El desgaste de cromo normalmente se origina con la contaminación del aceite. El alto desgaste de Níquel normalmente indica una alta contaminación por hollín y tierra.

3.2.7.4 PLOMO (PB)

El plomo proviene de cojinetes, volandas de empuje, bujes de bielas. Existen casos en los que puede llegar en la gasolina. El motivo más común del plomo en el aceite es la corrosión de los cojinetes en motores que son almacenados un mes o más con aceite semi-usado o sucio. Los contaminantes y los ácidos que se forman en el aceite causan corrosión cuando no está circulando para refrescar los aditivos en contacto con los cojinetes. Observamos mucha corrosión de cojinetes en equipo agrícola y equipo de construcción que se utilizan en ciertos periodos del año y se guardan meses sin usar. [11]



Figura 3. 4 Desgaste de cojinete por almacenamiento en aceites sucios.
FUENTE: <http://www.widman.biz/Analisis/desgaste.html>

3.2.7.5 COBRE (CU)

Comúnmente el cobre proviene de cojinetes, bujes, enfriador de aceite, arandela de empuje, guías de válvulas y bujes de bielas.

Los bujes y cojinetes normalmente son aleaciones y capas de diferentes metales blandos diseñados para absorber impacto y desgaste en lugar del cigüeñal y las bielas. El residuo de estos elementos viene de desgaste o corrosión. [11]

DESGASTE DE COJINETES Y BUJES. Al momento en que hace falta lubricación hidrodinámica por falta de viscosidad o velocidad el motor depende de los aditivos anti-desgaste en el aceite para proveer lubricación límite. Si el aceite no puede cumplir con este requerimiento por falta de aditivos, al existir degradación o sobrecarga, el cojinete roza contra su contraparte (el cigüeñal, biela, etc.) y desgasta.



Figura 3. 5 Desgaste de cojinete por falta de viscosidad del aceite.
FUENTE: <http://www.widman.biz/Analisis/desgaste.html>

DESGASTE DE ARANDELAS DE EMPUJE (COJINETES AXIALES). Al momento de exigir la máxima fuerza del motor o se lo sobrecarga al acelerar demasiado o simplemente al querer trepar en una pendiente, las arandelas de empuje siempre están en contacto con el bloque. Este desgaste normalmente aparece como cobre.



Figura 3. 6. Desgaste de arandelas de empuje.
FUENTE: <http://www.widman.biz/Analisis/desgaste.html>

DESGASTE DE GUÍAS DE VÁLVULAS. Se supone que las guías de válvulas deberían durar muchos años. Sin embargo, al tener un aceite es de baja calidad y empieza a carbonizarse en los vástagos, este carbón desgasta las guías, provocando la aparición de cobre en los análisis y alto consumo de aceite.



Figura 3. 7 Desgaste de cojinete por falta de viscosidad del aceite.
FUENTE: <http://www.widman.biz/Analisis/desgaste.html>

3.2.7.6 ESTAÑO (SN)

Las potenciales fuentes de estaño son los cojinetes mayores de la biela, cojinetes principales, los casquillos del cojinete del bulón, cojinetes del eje de levas, casquillos de los cojinetes de los extremos del eje de levas y las arandelas de empuje. Estos dependen de en su totalidad de la lubricación hidrodinámica.

3.2.7.7 ALUMINIO (AL)

Una vez que se eliminó las partículas que ingresan como tierra, las partículas de desgaste de aluminio viene de los cojinetes, bujes (varios), pistones o sus faldas, arandelas de empuje y el turbo. Normalmente los cojinetes y bujes trabajan 100% en lubricación hidrodinámica. Únicamente cuando falla esta lubricación o se contamina el aceite se provoca contacto entre las piezas y desgaste adhesivo.

El desgaste de aluminio de los pistones ocurre cuando hay falla de lubricación hidrodinámica o se abre mayor espacio entre las paredes de los cilindros y los pistones permitiendo el movimiento lateral de la falda del pistón.

3.2.8 EMITIR EL DIAGNOSTICO GENERAL DE LA MUESTRA

Acumular las anotaciones y analizar, si los pivotes y los datos con tendencia se relacionan entre sí y emitir un diagnóstico de lo encontrado. Recomendaciones:

- Las conclusiones deberán estar siempre dentro del contexto de los hechos, y si fuese necesario recomendar la realización de una investigación de campo.
- Hay que presentar acciones de lo que se debe hacer con el lubricante y por lo tanto con el equipo.
- No debe dirigir la atención directamente en los datos de desgaste.
- Encontrar la relación entre los parámetros de cada categoría.
- Establecer relaciones entre los parámetros de cada clase. Por ejemplo, un parámetro de salud puede evidenciar la razón de los valores de un parámetro de desgaste.

3.3 APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE ACEITE

Los equipos pesados son dependientes de sus motores, que a su vez son dependientes de sus fluidos de trabajo tales como lubricantes, refrigerantes combustibles, aire, estos elementos transportan contaminantes dentro del sistema. El que estos contaminantes se encuentren dentro del aceite puede considerarse el inicio de una falla a pesar de que aún no se manifiesten signos de pérdida del desempeño ni de la confiabilidad operacional, pero en cambio evidencian que las condiciones que desembocarían en estos sucesos están presentes. De esto que la herramienta del análisis de aceite puede ser usada como un recurso fundamental para la aplicación de un mantenimiento proactivo.

3.3.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MAQUINARIA

La maquinaria objeto del Análisis de Aceite (AA) se definió en el capítulo 2, donde se realizó el estudio de criticidad para definir los equipos que se encuentran en el rango de criticidad más alto. La ficha técnica de cada máquina y motor, además de la evaluación del estado operativo previo al inicio del AA se encuentran en el punto 2.4 del presente trabajo.

Tabla 3. 1 Equipos objeto del AA. FUENTE: Autor

CÓD.	DETALLE	MARCA	MOTOR	VALOR CRITICIDAD
001	Cargadora para túnel	FAMBITION	DEUTZ	140
134	Dumper	PS3000	KUBOTA	132
709	Compresor	XP375WCU	CUMMINS	80
971	Minicargadora	HSL850	KUBOTA	52

3.3.2 DESCRIPCIÓN DEL LUBRICANTE UTILIZADO

La empresa COANDES mantiene unificado para toda su maquinaria diésel un único lubricante, el aceite URSA PREMIUN TDX SAE 15W40 proporcionado por la empresa Conauto. Este aceite cumple con las especificaciones API CI-4, ACEA E7-08 y SAE 15W40. (ANEXO B1)

**Tabla 3. 2 Características Aceite UPTDX 15W40
FUENTE: Manual Ursa Premium TDX SAE 15W40 HDMO-4400s (Anexo B1)**

PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR	ENSAYO
Viscosidad cinemática	cSt @ 40°C	14,8	D445
	cSt @ 100°C	113,3	D445
Punto de Inflamación	°C	250	D92
Densidad	@ 15 °C Kg/L	0,877	D4052
Viscosidad a baja temperatura	-20 °C cP	6070	D5293
Índice de viscosidad		140	D2270
Punto de Inflamación	°C	250	D92
Punto de fluidez	°C	-33	D97
Numero base total (TBN)	mg KOH/ g	9,5	D2896

3.3.3 DEFINICIÓN DE LÍMITES CONDENATORIOS CRÍTICOS A APLICARSE EN EL ANÁLISIS DE ACEITE

Para la definición de los límites condenatorios que aplicaremos al análisis de aceite tendremos en cuenta varias fuentes que pretenden identificar los rangos ideales de concentraciones para cada uno de los parámetros que se obtienen de un análisis de aceite.

La comparación entre estas nos permitirá identificar los valores ideales de los límites críticos que aplicaremos a nuestros análisis, buscando que los resultados estén alineados a la necesidad de la empresa COANDES y que permitan además ser un indicador que de soporte a la mejora del mantenimiento que se pretende obtener.

Cada fuente maneja un criterio propio sobre el límite máximo y mínimo que aplica a cada parámetro en función de la aplicación y objetivo de la misma. Pero cada una aporta valiosa información a fin de encontrar el límite más adecuado para un correcto análisis desde el enfoque proactivo; por ejemplo, si bien los límites condenatorios que establece el fabricante del aceite son aquellos dentro de los cuales el desempeño de su aceite es correcto estos no están analizados directamente en base a los requerimientos que exige el fabricante de algún modelo de motor.

Por ello contrastando e identificando cada fuente y en función de la necesidad de este estudio estableceremos los límites proactivos para el presente trabajo. Las fuentes de información sobre límites y rangos de los parámetros de salud, contaminación y desgaste que se manejan son:

- Límites condenatorios propios del aceite URSA UPTDX 15W40 (ANEXO B1) [12]
- Valores condenatorios de concentraciones adoptadas por las casas fabricantes de motores. (ANEXO B2) [2]
- Propuesta de límites para un mantenimiento proactivo. Widman International SLR. (ANEXO B3) [13]

A continuación se presenta una tabla resumen (Tabla 3.3.) que permite la comparación con los límites que establece cada fuente.

Tabla 3. 3 Comparación de Límites Condenatorios. FUENTE: Autor

PARÁMETRO		URSA UPTDX 15W40 [12]	FABRICANT CAT [2]	FABRICANT CUMMINS [2]	PROPUESTA WIDMAN [13]
Viscosidad (cSt 100)	Max	16.3	+20 % (Original)	>4 (original)	--
	Min	12.5	- 10% (Original)	<4 (original)	--
TBN (mgKOH /g)	Max	9.5	--	--	--
	Min	4.8	1.0	2	--
Oxidación (%)	Max	--	--	--	15.68
Nitración (%)	Max	--	--	--	12.40
Sulfatación (%)	Max	--	--	--	13.10
Silicio (ppm)	Max	40	10	15	
Agua (%)	Max	0.2	0.25	0.2	0 (Negativo)
Hierro (ppm)	Max	100	100	84	100
Cobre (ppm)	Max	50	45	20	30
Plomo (ppm)	Max	50	100	100	30
Cromo (ppm)	Max	30	15	15	10
Estaño (ppm)	Max	40	20	20	20
Níquel (ppm)	Max	--	--	--	10
Aluminio (ppm)	Max	40	15	15	20

3.3.3.1 VISCOSIDAD

Con respecto al parámetro de la viscosidad, los parámetros que establecen tanto Cat y Cummins establecen un rango máximo y mínimo del parámetro original del aceite nuevo, que aplicado a la viscosidad original del lubricante de 14.8 cSt arrojan valores que están fuera del rango que en cambio establecen los límites condenatorios propios del lubricante.

La viscosidad al ser un parámetro que depende muchísimo de la formulación de la base del aceite, debemos tomar muy en cuenta los máximos y mínimos que establecen los fabricantes ya que es en este rango donde ellos comprueban y

garantizan su efectividad. Por estas dos razones se eligen los valores de 16.2 y 12.5 cSt como límites críticos máximo y mínimo respectivamente.

3.3.3.2 TBN

En cuanto al TBN en similar forma que la viscosidad, se elige como límite mínimo y máximo de reserva alcalina el valor establecido por el fabricante del aceite de 4.8 y 9.5 mgKOH/g, recordando que el límite máximo es el valor original para el aceite nuevo.

La elección de este límite se basa en que los dos límites planteados por las casas fabricantes consultados manejan un valor muy bajo de TBN que de alcanzarse dejaría obsoleto al aceite, porque ya habría agotado su capacidad para la neutralización de ácidos. Otro punto importante es que el combustible Diésel 2 que provee Petrocomercial y que es de uso global en la maquinaria de la empresa COANDES posee un nivel de azufre alto (Contenido real de Azufre 0.72 %) [14] que requiere obligatoriamente una reserva alcalina mayor que 2.5 mgKOH/g. Lastimosamente este nivel de azufre muchas veces suele ser más alto debido a la baja calidad del combustible diésel que se distribuye para el uso industrial en la zona oriental de nuestro país, de allí que se justifique aún más la necesidad de un alto TBN.

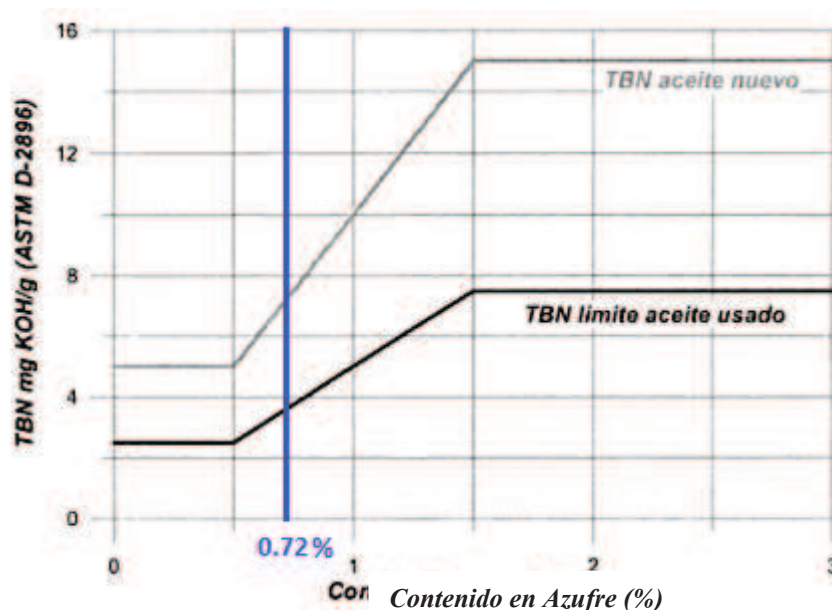


Figura 3. 8 Nivel de TBN necesario en el aceite nuevo y usado.
FUENTE: TORMOS B. Diagnóstico de Motores mediante el Análisis de Aceite Usado.

3.3.3.3 OXIDACIÓN, NITRACIÓN Y SULFATACIÓN

Para estos tres parámetros de salud que intervienen directamente en la disminución de la reserva alcalina se determina como parámetros máximos los recomendados por la fuente de la empresa de soluciones de lubricación Widman SLR. Estos tres puntos manejan porcentajes máximos de entre el 10 % y 15 % en la mayoría de los análisis de aceite, se debe recordar que estos parámetros son indicativos a los que generalmente se acude cuando tenemos valores críticos de TBN.

3.3.3.4 SILICIO

Como ya se indicó el silicio es el primer agente dañino para el motor debido a su acción contaminante y su efecto desgastante. El límite establecido por el fabricante del aceite es alto, un aceite que maneje estos valores de contaminación no permitiría un control adecuado del desgaste. Los fabricantes en recomiendan valores de silicio de alrededor de 15ppm.

Se establece un límite de 20 ppm como límite máximo, el criterio manejado pretende tener un control efectivo de este agente contaminante pero también tomar en cuenta las condiciones ambientales sumamente agresivas donde opera la maquinaria (perforación de túneles y movimiento de tierras), donde la aspiración de aire es crítica debido a la saturación de polvo.

3.3.3.5 AGUA

El agua es un agente contaminante que tolera niveles muy bajos en porcentaje, menores al 0,2% de presencia de agua por crepitación, mayor a esto ya se presenta efectos de corrosión. Por ello en el reporte de análisis únicamente nos refiere la presencia o no presencia de agua según se guarde o se sobrepase este valor, de allí que exista dos estados únicos, negativo (normal) y positivo (critico).

3.3.3.6 HIERRO

El hierro es el elemento generalmente más abundante dentro de la constitución de un motor diésel por lo cual suele ser el elemento de mayor presencia dentro de un análisis de aceite. Las tres fuentes consultadas coinciden en valores promedio de 100 ppm, por esta razón se elige este valor como el límite crítico para las muestras. Valores por sobre este valor además demostrarían que el desgaste presentado es fuerte y comprometerían seriamente la vida útil del motor, ya que evidenciarían que varias piezas están fallando simultáneamente.

3.3.3.7 COBRE, ALUMINIO, PLOMO, ESTAÑO, NÍQUEL Y CROMO

Los límites condenatorios de los metales de desgaste Cu, Al, Pb, Sn, Ni, Cr que maneja el fabricante del aceite y los fabricantes de los motores son altos, permitir estos niveles de desgaste no es bueno y no permitiría el control desde un enfoque proactivo.

Por esta razón se toma los límites críticos recomendados por Widman SLR, estos nos permitirán un control más adecuado del desgaste y también permitirán diagnosticar prontamente de la falla en algún componente.

3.3.3.8 LÍMITES CRÍTICOS

En la tabla 3.3 se presentan los límites críticos para cada parámetro que se establecen para la evaluación de los resultados del análisis de aceite realizado a los equipos de COANDES. Estos límites también serán usados para el desarrollo del software de interpretación de resultados de análisis de aceite.

Tabla 3. 4 Resumen de Límites Críticos definidos en la investigación para el análisis de aceite de la maquinaria de la empresa COANDES.
FUENTE: Autor

PARÁMETRO		LÍMITE CRÍTICO
Viscosidad (cSt 100)	Max	16.3
	Min	12.5
TBN (mgKOH /g)	Max	9.5
	Min	4.8
Oxidación (%)	Max	15.68
Nitración (%)	Max	13.01
Sulfatación (%)	Max	12.04
Silicio (ppm)	Max	20
Agua (>0.2%)		Negativo
Hierro (ppm)	Max	100
Cobre (ppm)	Max	30
Plomo (ppm)	Max	30
Cromo (ppm)	Max	10
Estaño (ppm)	Max	20
Níquel (ppm)	Max	10
Aluminio (ppm)	Max	20

3.4 EVALUACIÓN DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE ACEITE

Una vez que se ha determinado la metodología de análisis y se ha establecido los límites condenatorios para cada parámetro de Salud, Contaminación y Desgaste se evaluara los resultados de los análisis de cada una de las cuatro máquinas en estas tres categorías.

3.4.1 PERIODO DE MUESTREO Y FRECUENCIA DE MUESTREO

El periodo de toma de muestras se extendió durante seis meses, los análisis arrancaron el mes de Agosto del 2014 tras el levantamiento de información de la maquinaria y culminaron en Enero del 2015; durante el proceso la maquinaria se encontró operativa en la construcción del túnel de captación y la casa de máquinas del proyecto Hidrovictoria.

La frecuencia de muestreo que se aplicó para la toma de muestras es de 200 horas de trabajo, con un rango de tolerancia de +/- 20% (40 Horas). Esta frecuencia se decidió ya que el departamento de mantenimiento de COANDES dentro de su programa de mantenimiento, programa los cambios de aceite cada 200 horas de operación lo cual se aplica a todas las máquinas. En este marco y con la colaboración de los operadores de los equipos se pudo obtener el 95% de las muestras dentro del rango establecido; únicamente se obtuvo una muestra fuera de rango que requirió ser normalizada siendo esta la segunda muestra para el equipo Minicargadora Hyundai.

3.4.2 CARGADORA DE TÚNEL FAMBITION

La frecuencia de cambio de aceite (200 horas +/-20%) del equipo 001 se mantiene alrededor de los 45 días, por lo cual durante el semestre se pudo recolectar 4 muestras del motor Deutz.

Tabla 3. 5 Resumen de Muestras. Equipo 001. FUENTE: Anexos B4, B5, B6, B8

CARGADOR DE TÚNEL SCOUT				
REPORTE DE ANÁLISIS DE LABORATORIO				
LABORATORIO NUMERO	3776	4535	5070	492
NOMBRE DEL LUBRICANTE:	UPTDX 15W40	UPTX 15W40	UPTX 15W40	UPTDX 15W40
NOMBRE DEL CLIENTE	COANDES	COANDES	COANDES	COANDES
REQUERIDO POR:	CONAUTO	CONAUTO	CONAUTO	CONAUTO
REFERENCIA	OF.-245 DS	310 JS	OF.-341 JC	OF. 031
NUMERO DE MUESTRA:	1	1	2	2
FECHA DE OBTENCIÓN:	8/25/2014	9/29/2014	12/3/2014	1/14/2015
FECHA DE RECEPCIÓN:	9/2/2014	10/27/2014	12/4/2014	2/4/2015
FECHA DE ENTREGA:	9/5/2014	10/28/2014	12/10/2014	2/5/2015

HORÓMETRO/KM TOTAL: HR	385	600	826	1008
APARIENCIA	NEGRO	NEGRO	NEGRO	NEGRO
AGUA POR CREPITACIÓN	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO
VISC100°C CST,ASTM 445	16.03	15.03	18.15	16.08
TBN , ASTM D-2896	8.6	8.96	9.39	8.76
OXIDACIÓN, ASTM E-2412		11.41	12.9	
SULFATACIÓN, ASTM E-2412		18.94	20.84	
NITRACIÓN, ASTM E-2412		0.004	0	
METALES DESGASTE,				
METAL CROMO, Cr, ppm	14	4	12	5
METAL NÍQUEL, Ni, ppm	0	0	1	0
METAL COBRE, Cu, ppm	5	3	10	4
METAL ESTAÑO, Sn, ppm	0	0	0	0
METAL ALUMINIO, Al, ppm	22	7	16	12
METAL PLOMO, Pb, ppm	5	2	6	2
METAL HIERRO, Fe, ppm	95	30	92	57
METAL SILICIO, Si, ppm	44	16	50	28

3.4.2.1 SALUD

Tabla 3. 6 Evaluación de Parámetros de Salud. Equipo 001. FUENTE: Autor

PARÁMETROS DE SALUD							
MAQUINA		CARGADOR DE TÚNEL			RANGO PROMEDIO		206
CÓD.		001			SERVICIO [h]		
TIEMPOS			PARÁMETROS				
No	HOROMETRO TOTAL	HOROMETRO SERVICIO	VISCOSIDAD [Cst]	TBN [mg Koh]	OXI[%]	SULFA [%]	NITRA [%]
1	385	200	16.03	8.60			
2	600	215	15.03	8.96	11.41	<u>18.94</u>	0.004
3	826	226	<u>18.15</u>	9.39	12.90	<u>20.84</u>	0
4	1008	182	16.08	8.76			
		MEDIA MUESTRAL	<u>16.32</u>	8.93	12.16	<u>19.89</u>	0.002
		LIMITE MÁXIMO	16.30	9.50	15.68	13.10	12.40
		LIMITE MÍNIMO	12.50	4.80			

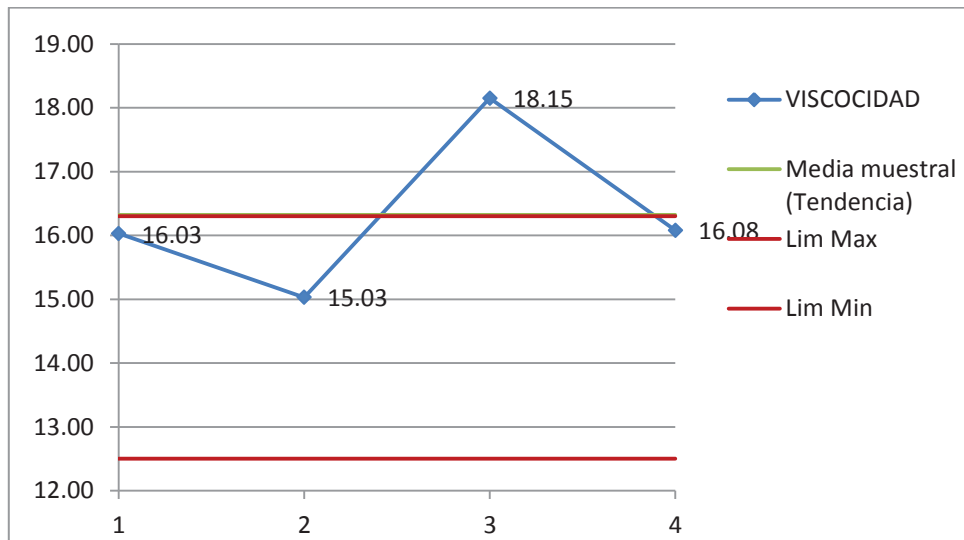


Figura 3. 9 Viscosidad. Equipo 001 FUENTE: Autor

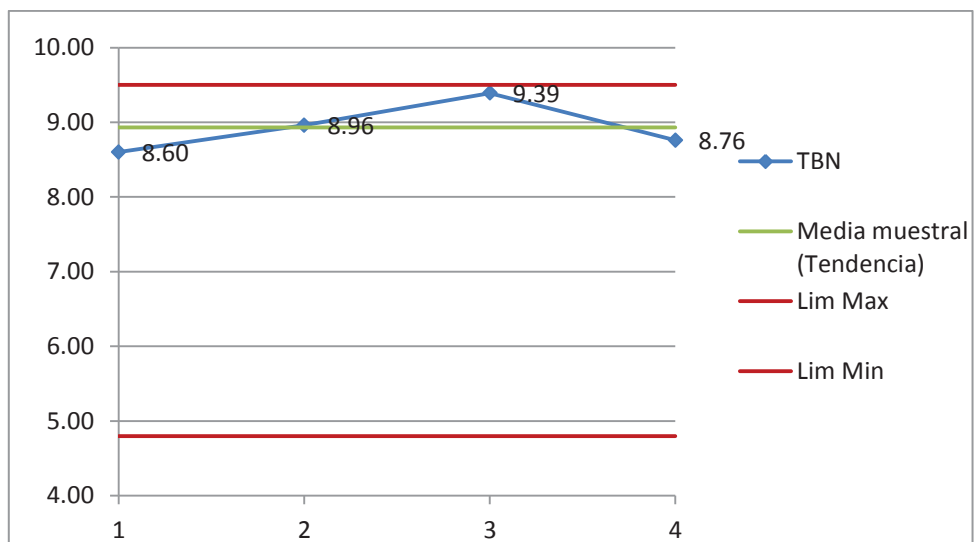


Figura 3. 10 TBN. Equipo 001 FUENTE: Autor

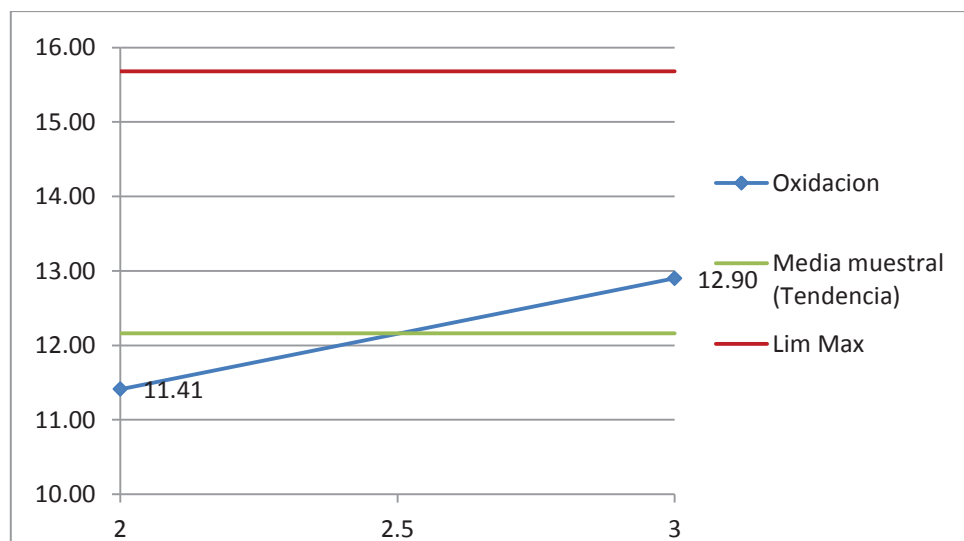


Figura 3. 11 Oxidación. Equipo 001 FUENTE: Autor

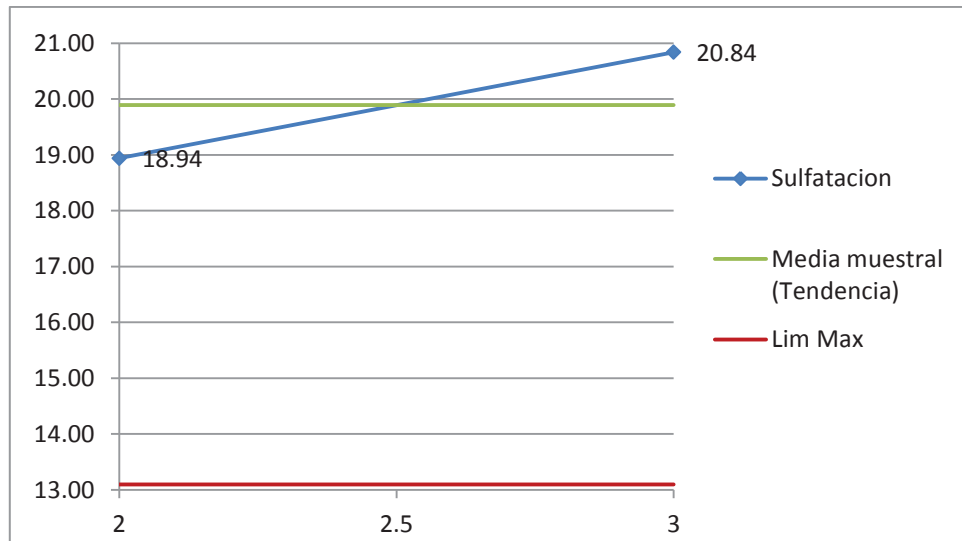


Figura 3. 12 Sulfatación. Equipo 001 FUENTE: Autor

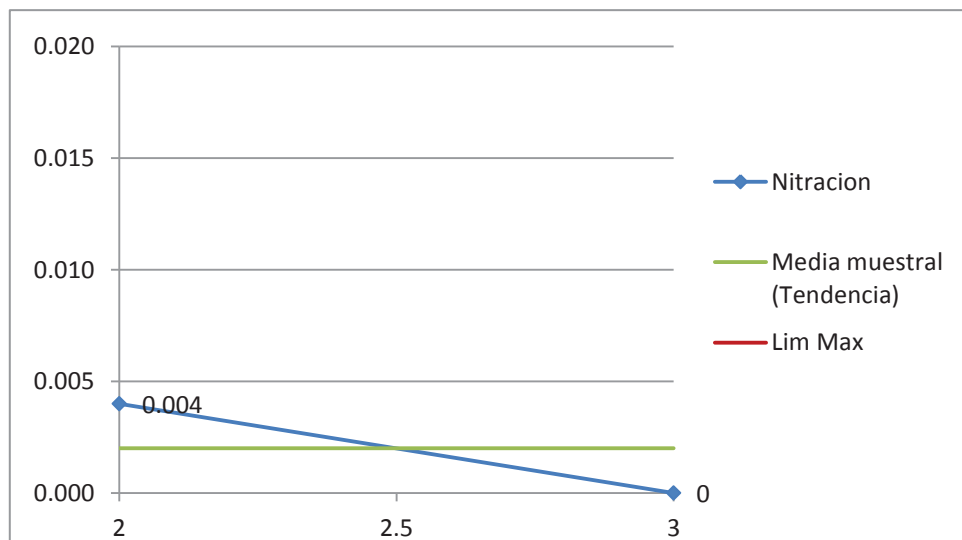


Figura 3. 13 Nitración. Equipo 001 FUENTE: Autor

3.4.2.2 CONTAMINACIÓN

Tabla 3. 7 Evaluación de Parámetros de Contaminación. Equipo 001. FUENTE: Autor

PARÁMETROS DE CONTAMINACIÓN				
MAQUINA	CARGADOR DE TÚNEL	RANGO PROMEDIO SERVICIO [h]		206
CÓD.	001			
TIEMPOS				
No	HOROMETRO TOTAL	HOROMETRO SERVICIO	SILICIO, Si [ppm]	AGUA
1	385	200	44	NEGATIVO
2	600	215	16	NEGATIVO
3	826	226	50	NEGATIVO
4	1008	182	28	NEGATIVO
	MEDIA MUESTRAL		34.50	
	LIMITE MÁXIMO		20	

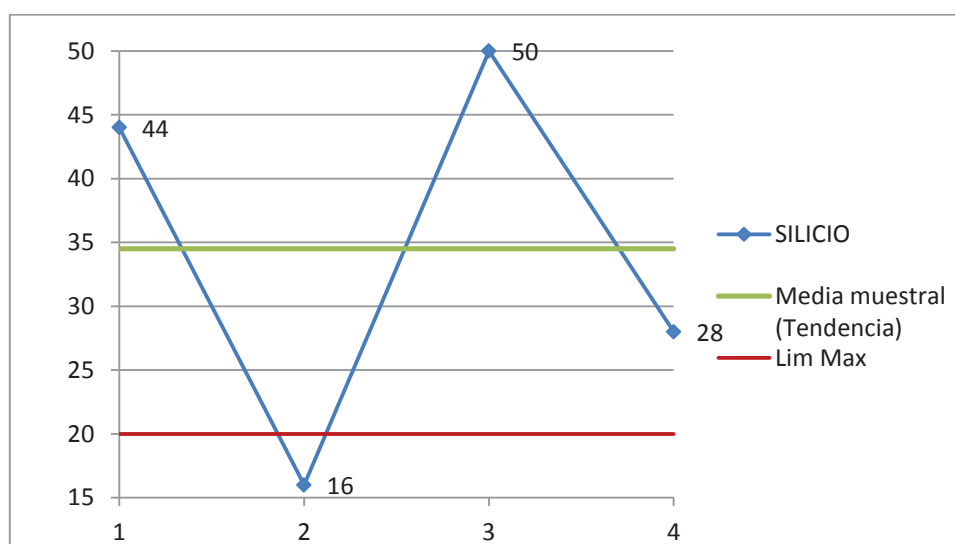


Figura 3. 14 Silicio. Equipo 001 FUENTE: Autor

3.4.2.3 DESGATE

Tabla 3. 8 Evaluación de Parámetros de Desgaste. Equipo 001. FUENTE: Autor

PARÁMETROS DE DESGASTE									
MAQUINA		CARGADOR DE TÚNEL		RANGO PROMEDIO SERVICIO		206			
CÓD.		001		[h]					
TIEMPOS				PARÁMETROS					
No	HOROMETRO TOTAL	HOROMETRO SERVICIO	CROMO, Cr [ppm]	COBRE, Cu [ppm]	ESTAÑO, Sn [ppm]	ALUMINIO, Al [ppm]	PLOMO, Pb [ppm]	HIERRO, Fe [ppm]	NÍQUEL, Ni [ppm]
1	385	200	14	5	0	22	5	95	0
2	600	215	4	3	0	7	2	30	0
3	826	226	12	10	0	16	6	92	1
4	1008	182	5	4	0	12	2	57	0
		MEDIA MUESTRAL	8.75	5.50	0.00	14.25	3.75	68.50	0.25
		LIMITE MÁXIMO	10	30	20	20	30	100	10

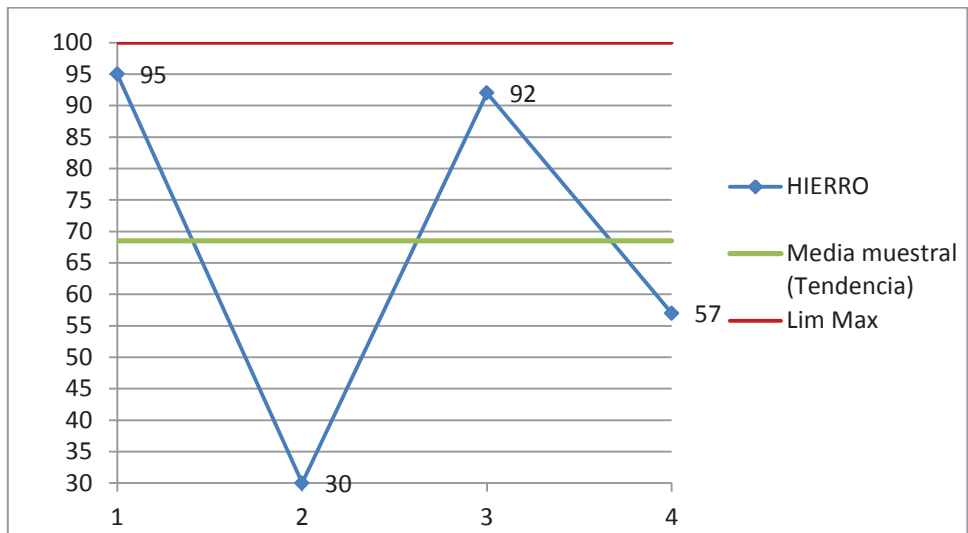


Figura 3. 15 Hierro. Equipo 001 FUENTE: Autor

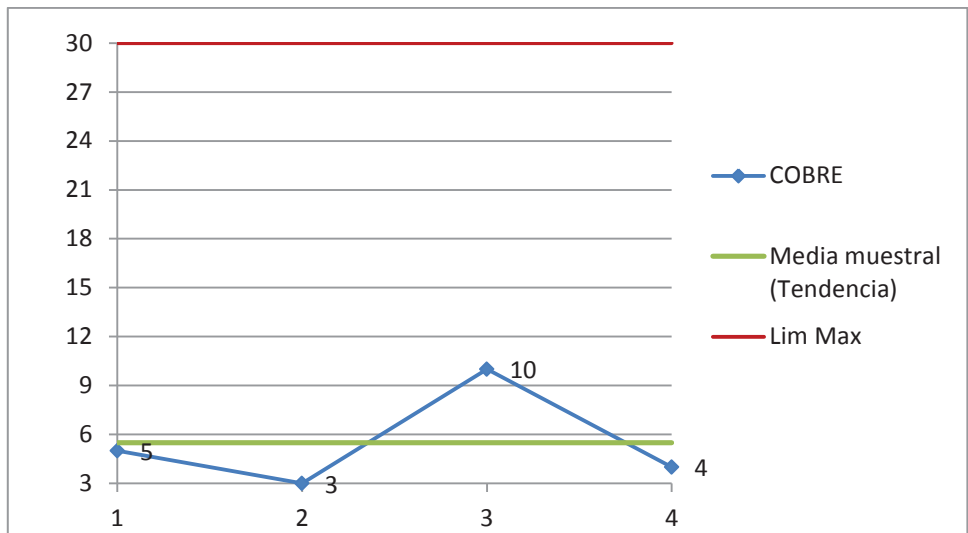


Figura 3. 16 Cobre. Equipo 001 FUENTE: Autor

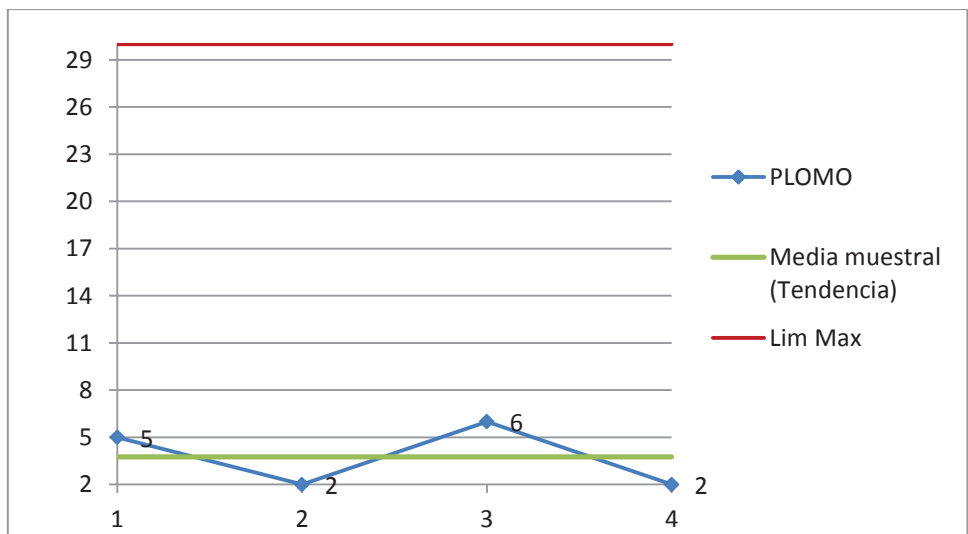


Figura 3. 17 Plomo. Equipo 001 FUENTE: Autor

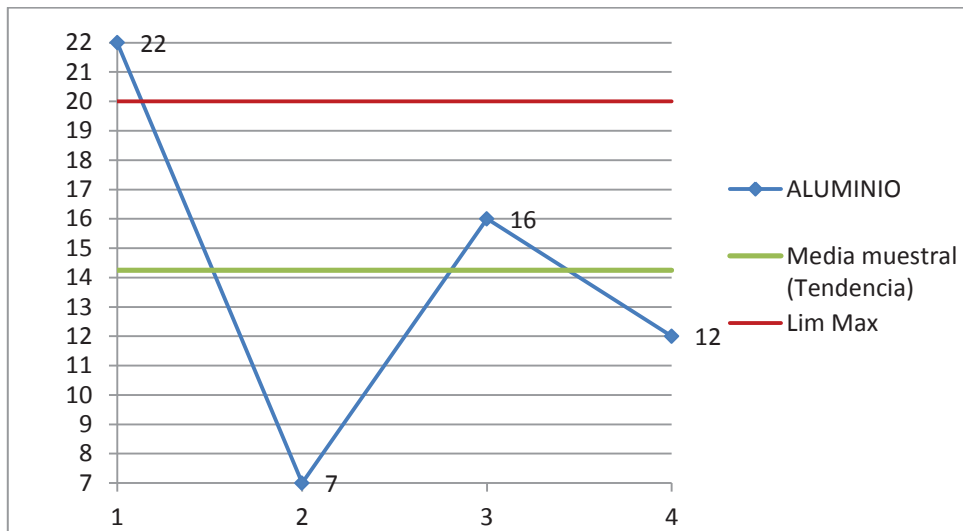


Figura 3. 18 Aluminio. Equipo 001 FUENTE: Autor

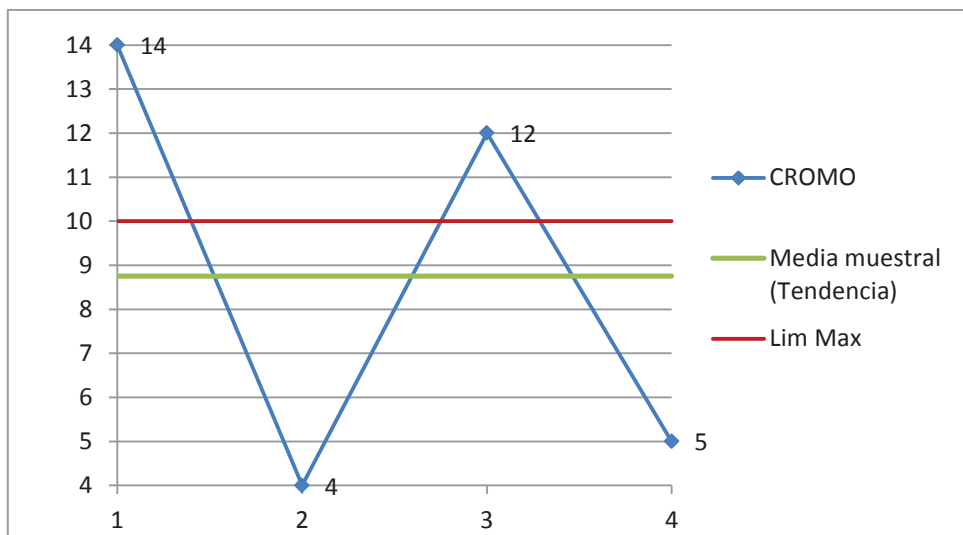


Figura 3. 19 Cromo. Equipo 001 FUENTE: Autor

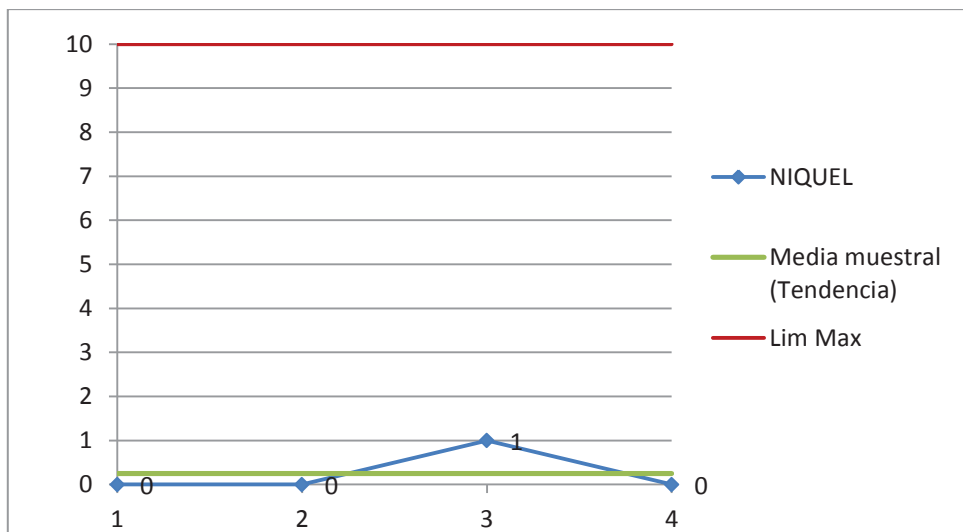


Figura 3. 20 Níquel. Equipo 001 FUENTE: Autor

3.4.2.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

SALUD

La viscosidad (Fig. 3.9) presenta un dato de tendencia con un valor que excede al límite crítico máximo del lubricante y además un pivote que se encuentra bastante fuera del rango aceptable por lo que influye decididamente en el dato de tendencia. Tomando en cuenta que la oxidación está dentro del parámetro además de que no existe presencia de agua en el lubricante y analizando el alto nivel de partículas de desgaste que se da principalmente en el pivote, se puede dar cuenta que el aceite está sufriendo un aumento en su densidad lo que degenera en un aumento de la viscosidad cinemática que puede producir problemas como mayor generación de calor que a su vez generara mayor polimerización aumentando aún más la viscosidad, es necesario aplicar correctivos sobre esta tendencia. El TBN (Fig. 3.10) se mantiene tanto en dato tendencia como en datos normales dentro de los límites aceptables por lo cual no existen problemas asociados a corrosión. La sulfatación (Fig.3.12), medida en las muestras 2 y 3, se encuentra alta debido a la baja calidad del combustible diésel usado en el motor pero la reserva alcalina en las muestras 2 y 3 mantiene un valor aceptable.

CONTAMINACIÓN

No existe presencia de agua por lo que se descarta aumentos de viscosidad debidos a este fenómeno y otros problemas asociados a la presencia de agua, lo cual es lógico al ser un motor de refrigeración por aire. El silicio (Fig. 3.14) presenta datos que exceden el límite crítico en tres de las cuatro muestras lo que da lugar a una tendencia alta de este contaminante, se desprende que el elemento filtrante que se está usando actualmente en el equipo no provee la suficiente protección para el entorno o en su defecto que es necesario un menor periodo entre el cambio de este elemento, hay que recordar que el equipo trabaja en un entorno sumamente polvoriento. La necesidad de acción sobre este punto es inmediata ya que el motor acaba de salir de una reparación y no es aceptable que se lo someta a un régimen de desgaste tan acelerado únicamente por falla en el filtro de aire. El elemento silicio aparte de estar actuando como elemento desgastante, principalmente está incrementando la viscosidad del aceite como se trató ya en los parámetros de salud.

DESGASTE

En cuanto a los metales de desgaste tenemos valores ligeramente altos pero aún por debajo del límite crítico para el hierro, cobre, estaño, níquel y plomo lo cual evidencia que la contaminación por silicio principalmente está afectando a la viscosidad y no al desgaste, pero nuevamente advierte la necesidad de un trabajo inmediato sobre ese punto. En la muestra número uno tenemos un pivote tanto para el aluminio (Fig.3.18) y para el cromo (Fig.3.19) que asociamos directamente al desgaste inicial del árbol de levas y las válvulas que es normal al ser elementos nuevos, recordar que el motor regresa a operación tras reparación.

3.4.3 Dumper

El Dumper código 134 es un equipo que trabaja en conjunto con la cargadora de túnel. Maneja una frecuencia de cambio de aceite de 45 días para las 200 horas de trabajo en promedio, similar a la cargadora. Con esta frecuencia se pudo obtener cuatro muestras de aceite.

Tabla 3. 9 Resumen de Muestras. Equipo 134. FUENTE: Anexos B4, B5, B6, B7

DUMPER				
REPORTE DE ANÁLISIS DE LABORATORIO				
LABORATORIO NUMERO	3530	3778	4537	5073
NOMBRE DEL LUBRICANTE:	UPTDX 15W40	UPTX 15W40	UPTX 15W40	UPTX 15W40
NOMBRE DEL CLIENTE	COANDES	COANDES	COANDES	COANDES
REQUERIDO POR:	CONAUTO	CONAUTO	CONAUTO	CONAUTO
REFERENCIA	OF.-228 DS	OF.-245 DS	310 JS	OF.-341 JC
NUMERO DE MUESTRA:	1	3	3	1
FECHA DE OBTENCIÓN:	7/20/2014	8/25/2014	10/8/2014	12/3/2014
FECHA DE RECEPCIÓN:	8/13/2014	9/2/2014	10/27/2014	12/4/2014
FECHA DE ENTREGA:	8/15/2014	9/5/2014	10/28/2014	12/10/2014
HORÓMETRO/KM TOTAL: HR	2530	2690	2855	3033
APARIENCIA	NEGRO	NEGRO	NEGRO	NEGRO
AGUA POR CREPITACIÓN	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO
VISC100°C CST,ASTM 445	17.78	15.51	15.89	15.08
TBN , ASTM D-2896	8.41	8.39	8.97	8.86
OXIDACIÓN, ASTM E-2412			15.44	14.68
SULFATACIÓN, ASTM E-2412			20.92	20.53
NITRACIÓN, ASTM E-2412			0	0
METALES DE DESGASTE, ASTM D-6595				
METAL CROMO, Cr, ppm	5	3	3	4
METAL NÍQUEL, Ni, ppm	1	0	0	0
METAL COBRE, Cu, ppm	3	1	2	2
METAL ESTAÑO, Sn, ppm	0	0	0	0
METAL ALUMINIO, Al, ppm	14	10	11	10
METAL PLOMO, Pb, ppm	1	1	1	1
METAL HIERRO, Fe, ppm	87	47	53	38
METAL SILICIO, Si, ppm	11	7	8	29

3.4.3.1 SALUD.

Tabla 3. 10 Evaluación de Parámetros de Salud. Equipo 134. FUENTE: Autor

PARÁMETROS DE SALUD							
MAQUINA		DUMPER			RANGO PROMEDIO		176
CÓD.		134			SERVICIO [h]		
TIEMPOS			PARÁMETROS				
No	HOROMETR O TOTAL	HOROMETR O SERVICIO	VISCOSIDA D [Cst]	TBN [mg Koh]	OXI [%]	SULFA [%]	NITRA [%]
1	2530	200	17.78	8.41			
2	2690	160	15.51	8.39			
3	2855	165	15.89	8.97	15.44	20.92	0
4	3033	178	15.08	8.86	14.68	20.53	0
		MEDIA MUESTRAL	16.07	8.66	15.06	20.73	0
		LIMITE MÁXIMO	16.30	9.50	15.68	13.10	12.40
		LIMITE MÍNIMO	12.50	4.80			

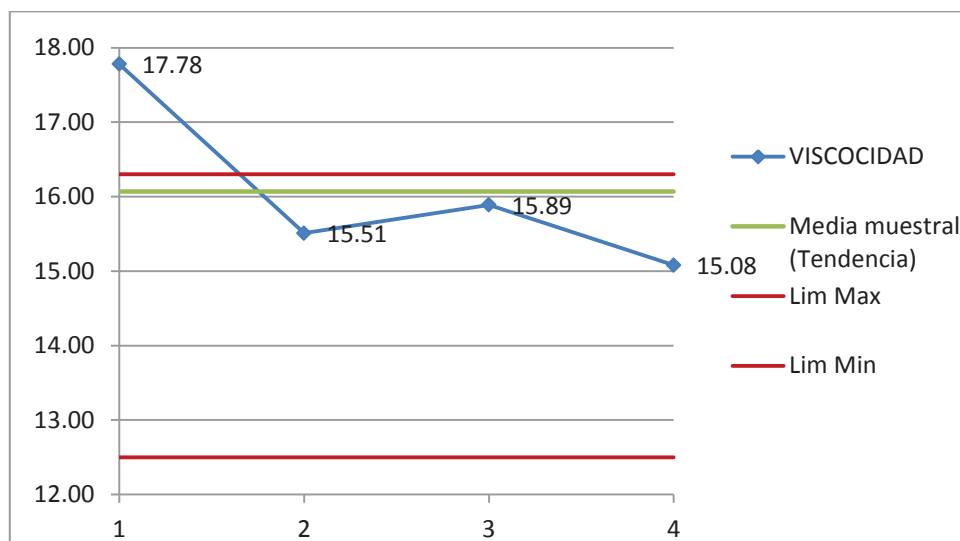


Figura 3. 21 Viscosidad. Equipo 134. FUENTE: Autor

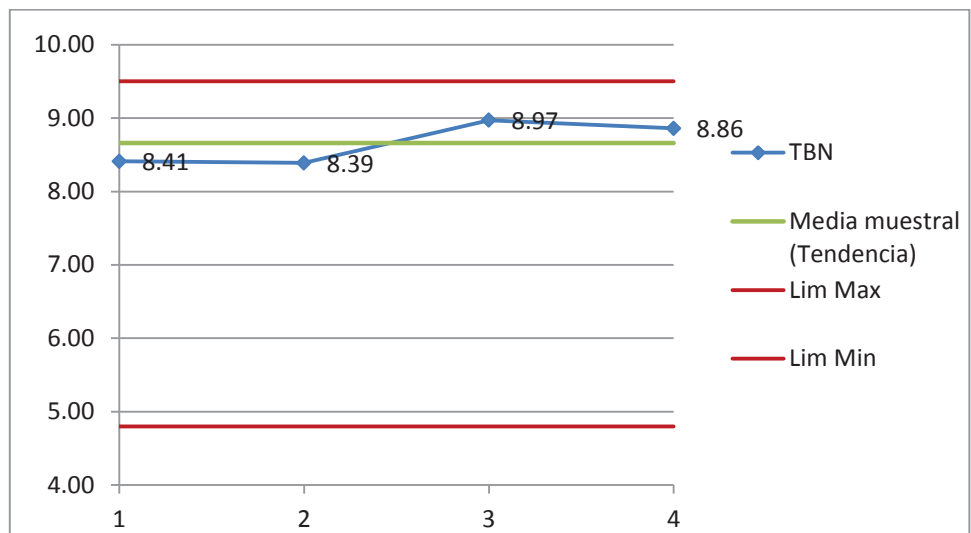


Figura 3. 22 TBN. Equipo 134. FUENTE: Autor

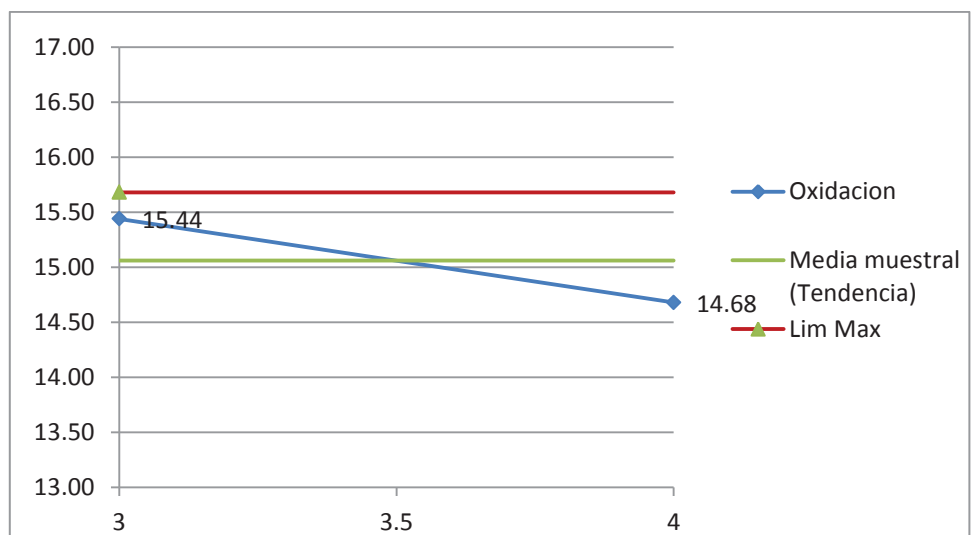


Figura 3. 23 Oxidación. Equipo 134. FUENTE: Autor

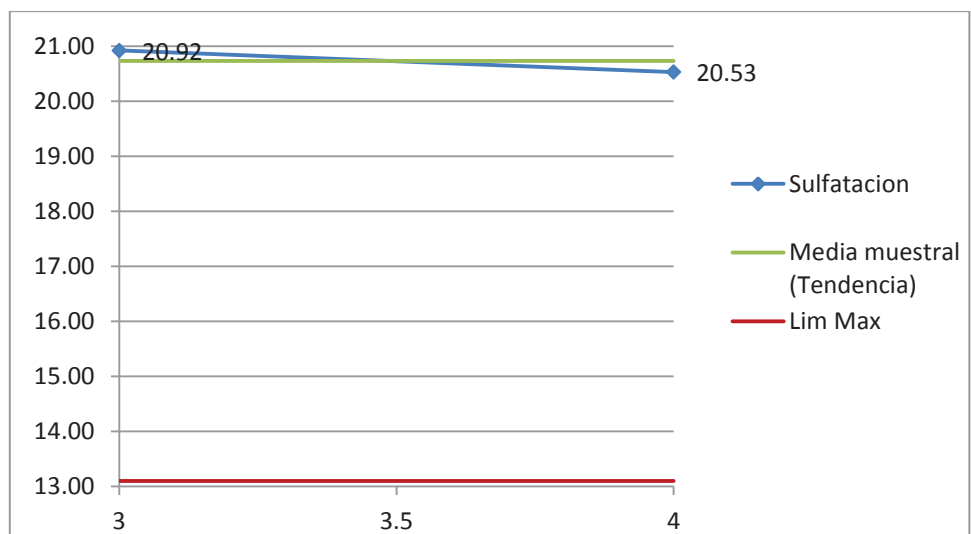


Figura 3. 24 Sulfatación. Equipo 134. FUENTE: Autor

3.4.3.2 CONTAMINACIÓN

Tabla 3. 11 Evaluación de Parámetros de Contaminación. Equipo 134. FUENTE: Autor

PARÁMETROS DE CONTAMINACIÓN				
MAQUINA	DUMPER	RANGO PROMEDIO		
CÓD.	134	SERVICIO [h]		176
TIEMPOS			PARÁMETROS	
No	HOROMETRO TOTAL	HOROMETRO SERVICIO	SILICIO, Si [ppm]	AGUA
1	2530	200	11	NEGATIVO
2	2690	160	7	NEGATIVO
3	2855	165	8	NEGATIVO
4	3033	178	29	NEGATIVO
MEDIA MUESTRAL			13.75	-
LIMITE MÁXIMO			20	

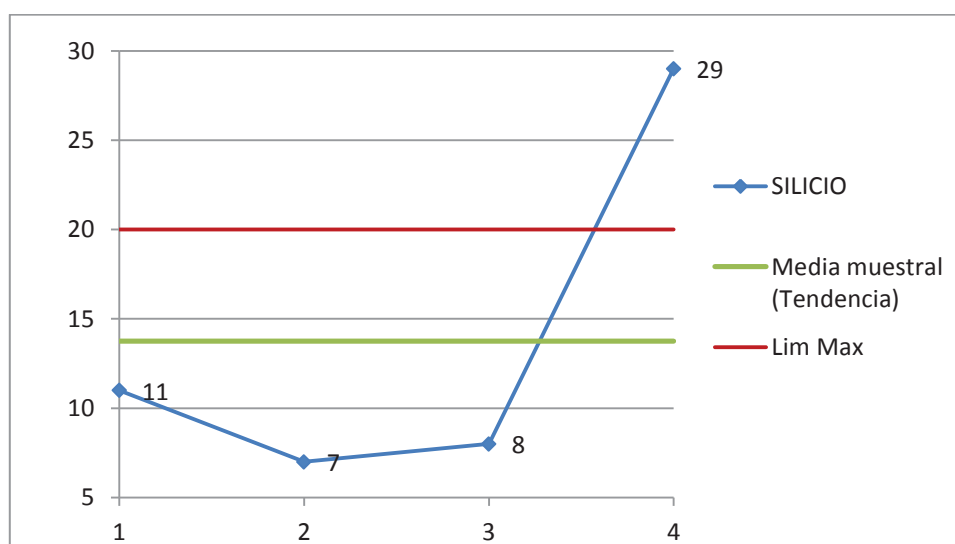


Figura 3.25 Silicio. Equipo 134. FUENTE: Autor

3.4.3.3 DESGASTE

Tabla 3. 12 Evaluación de Parámetros de Desgaste. Equipo 134. FUENTE: Autor

PARÁMETROS DE DESGASTE									
MAQUINA		CARGADOR DE TÚNEL		RANGO PROMEDIO SERVICIO		206			
CÓD.		001		[h]					
TIEMPOS				PARÁMETROS					
No	HOROMETRO TOTAL	HOROMETRO SERVICIO	CROMO, Cr [ppm]	COBRE, Cu [ppm]	ESTAÑO, Sn [ppm]	ALUMINIO, Al [ppm]	PLOMO, Pb [ppm]	HIERRO, Fe [ppm]	NÍQUEL, Ni [ppm]
1	385	200	14	5	0	22	5	95	0
2	600	215	4	3	0	7	2	30	0
3	826	226	12	10	0	16	6	92	1
4	1008	182	5	4	0	12	2	57	0
		MEDIA MUESTRAL	8.75	5.50	0.00	14.25	3.75	68.50	0.25
		LIMITE MÁXIMO	10	30	20	20	30	100	10

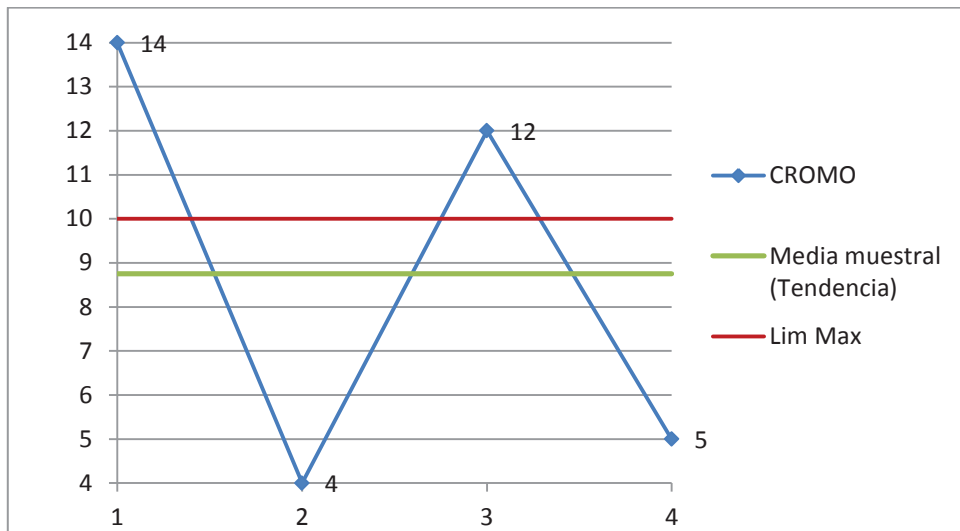


Figura 3. 26 Cromo. Equipo 134. FUENTE: Autor

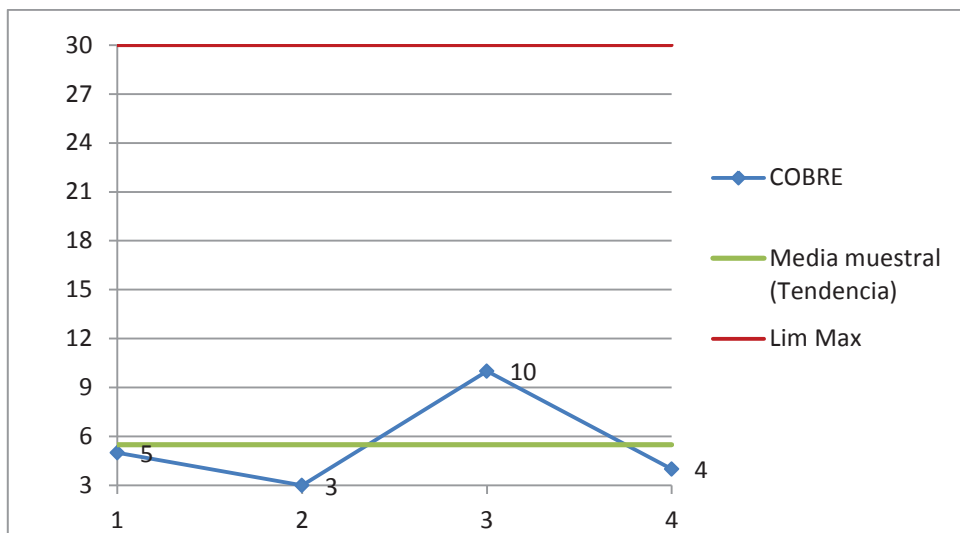


Figura 3. 27 Cobre. Equipo 134. FUENTE: Autor

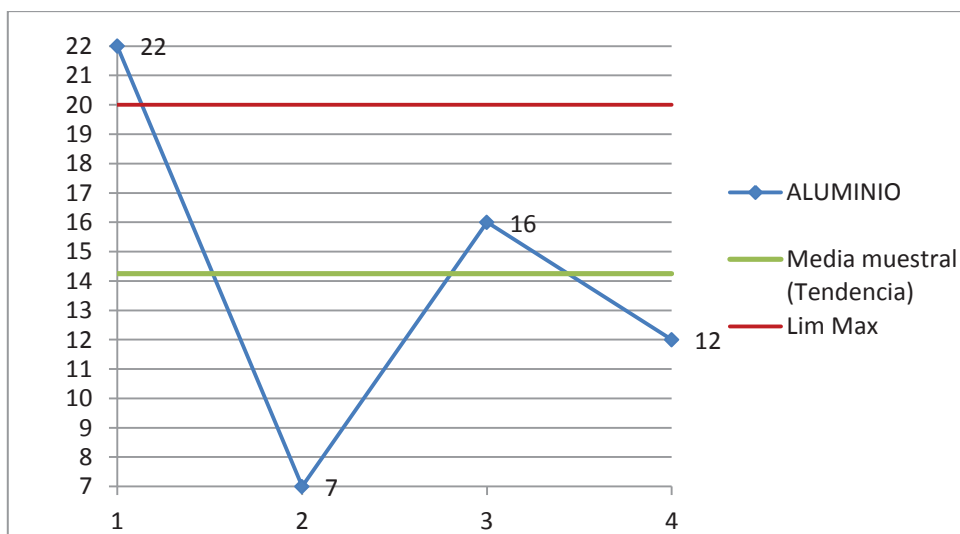


Figura 3. 28 Aluminio. Equipo 134. FUENTE: Autor

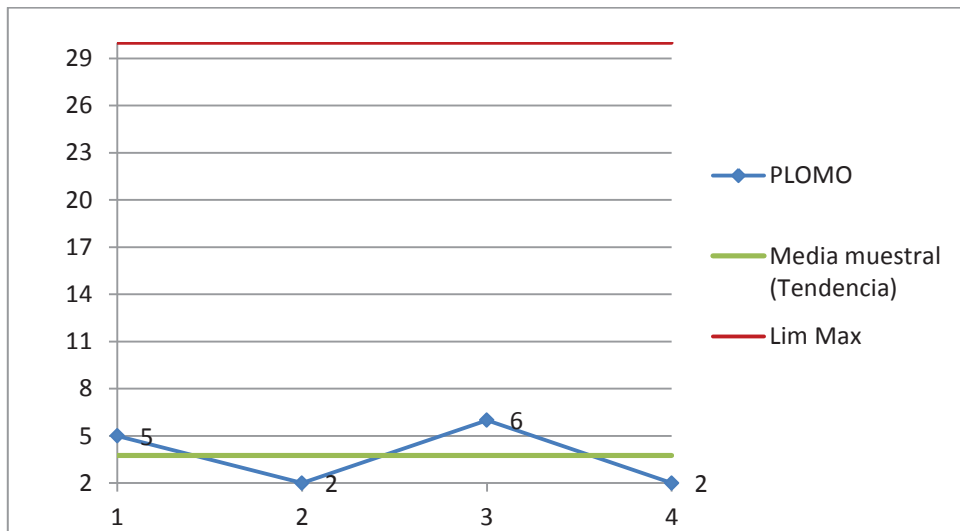


Figura 3. 29 Plomo. Equipo 134. FUENTE: Autor

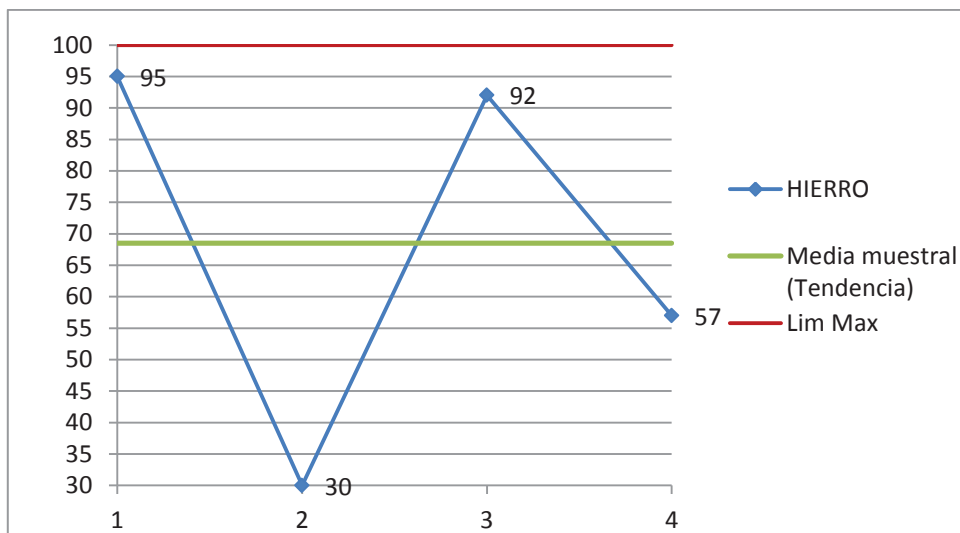


Figura 3. 30 Hierro. Equipo 134. FUENTE: Autor

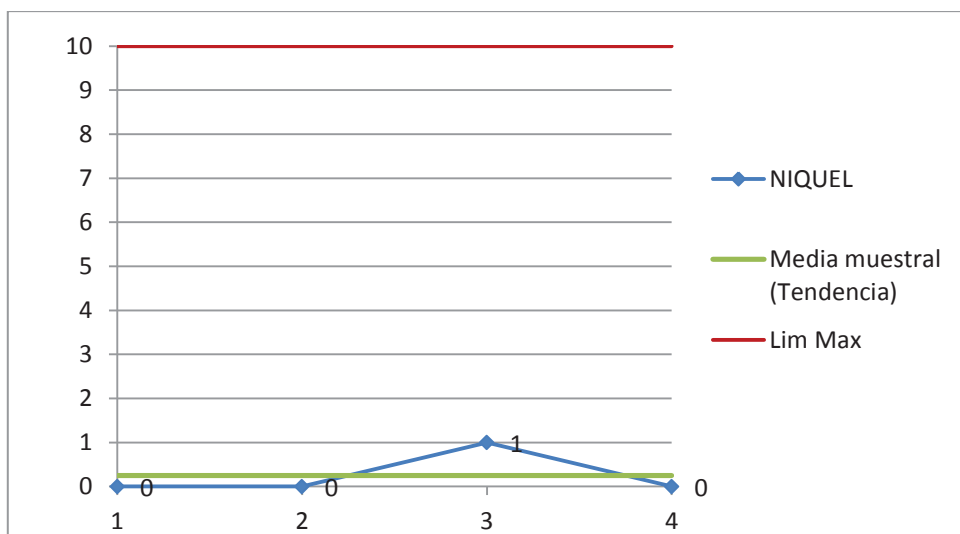


Figura 3. 31 Níquel. Equipo 134. FUENTE: Autor

3.4.3.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

SALUD

La viscosidad (Fig. 3.21) como dato de tendencia se encuentra dentro del rango aceptable aunque cercana a límite crítico máximo demostrando un aumento de viscosidad muy a tener en cuenta; no existe agua presente en las muestras por lo que se descarta emulsiónamiento o espumas en el aceite. El nivel de TBN (Fig. 3.22) en las cuatro muestras ha descendido a penas desde la línea base (límite máximo) permitiendo una buena salud alcalina del lubricante, esto queda evidenciado por los niveles casi inexistentes de nitración y el aceptable nivel de oxidación. Con respecto a la tendencia de aumento de la viscosidad en cada muestra al descartar el emulsiónamiento, la oxidación y la cocción, la causa se inclinaría hacia un problema de acumulación de materia carbonosa producto de la combustión, cabe recordar que la maquina ha presentado problemas en la bomba de inyección la cual podría estar enviando combustible en exceso. Se recomienda una calibración y de ser necesario reparación de la bomba inyectora.

CONTAMINACIÓN

El silicio (Fig. 3.25) presenta un valor normal para las tres primeras muestras y un valor de pivote para la última, a pesar de ello el dato de tendencia también se encuentra dentro de los parámetros normales. En consecuencia el pivote se presenta como una situación puntual para ese periodo de trabajo (filtro de aire defectuoso o contaminación previa del aceite) por lo cual se descarta problemas catastróficos debidos a este contaminante.

No existe presencia de contaminación por agua lo que asegura un buen funcionamiento del sistema de refrigeración, los bajos niveles de oxidación y nitración lo evidencian.

DESGASTE

Las muestras 2 y 4 presentan pivotes de dos tipos de metales y valores más altos que el dato de tendencia para todos los metales. En cuanto a metales de desgaste se evidencia problemas en las concentraciones de Cromo (Fig. 3.26) y Aluminio (Fig. 3.28), este desgaste puede estar asociado a problemas en bujes y cojinetes. También los niveles altos de Cromo indicarían un posible desgaste de la falda del pistón.

Los niveles de hierro se acercan en las dos muestras número uno y tres al límite máximo (Fig. 3.30) evidenciando un posible desgaste del block que se correspondería con el desgaste de la falda del pistón. Un diagnostico proactivo mediante la medida de compresión permitiría corroborar o descartar esta teoría.

3.4.4 COMPRESOR.

El equipo 709 Doosan/Ingersoll Rand con motor Cummins de cuatro cilindros estático, alcanza en promedio las 200 horas de trabajo en 60 días de operación en el proyecto. De él se pudo obtener tres muestreos de aceite a lo largo del estudio.

Tabla 3. 13 Resumen de Muestras. Equipo 709. FUENTE: Anexos B5, B6, B8

COMPRESOR			
REPORTE DE ANÁLISIS DE LABORATORIO			
LABORATORIO NUMERO	3777	4536	491
NOMBRE DEL LUBRICANTE:	UPTDX 15W40	UPTX 15W40	UPTDX 15W40
NOMBRE DEL CLIENTE	COANDES	COANDES	COANDES
REQUERIDO POR:	CONAUTO QUITO	CONAUTO QUITO	CONAUTO QUITO
REFERENCIA	OF.-245 DS	310 JS	OF. 031
NUMERO DE MUESTRA:	2	2	1
FECHA DE OBTENCIÓN:	8/25/2014	10/15/2014	1/14/2015
FECHA DE RECEPCIÓN:	9/2/2014	10/27/2014	2/4/2015
FECHA DE ENTREGA:	9/5/2014	10/28/2014	2/5/2015
HORÓMETRO/KM TOTAL: HR	3719	3892	4112
APARIENCIA	NEGRO	NEGRO	NEGRO
AGUA POR CREPITACIÓN	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO
VISCOSIDAD A 100°C CST,ASTM 445	15.21	33.41	14.96
TBN , ASTM D-2896	8.64	5.43	8.39
OXIDACIÓN, ASTM E-2412		12.06	
SULFATACIÓN, ASTM E-2412		46.75	
NITRACIÓN, ASTM E-2412		0.119	
METALES DE DESGASTE, ASTM D-6595			
METAL CROMO, Cr, ppm	9	17	3
METAL NÍQUEL, Ni, ppm	0	1	1
METAL COBRE, Cu, ppm	3	6	5
METAL ESTAÑO, Sn, ppm	0	0	0
METAL ALUMINIO, Al, ppm	5	10	10
METAL PLOMO, Pb, ppm	1	3	3
METAL HIERRO, Fe, ppm	32	62	59
METAL SILICIO, Si, ppm	16	12	37

3.4.4.1 SALUD

Tabla 3. 14 Evaluación de Parámetros de Salud. Equipo 709. FUENTE: Autor

PARÁMETROS DE SALUD							
MAQUINA		COMPRESOR DOSSAN			RANGO PROMEDIO		198
CÓD.		709			SERVICIO [h]		
TIEMPOS			PARÁMETROS				
N o	HOROMETRO TOTAL	HOROMETR O SERVICIO	VISCOSIDA D [Cst]	TBN [mg Koh]	OXI [%]	SULFA [%]	NITRA [%]
1	3719	200	15.21	8.64			
2	3892	173	<u>33.41</u>	5.43	12.06	<u>46.75</u>	0.12
3	4112	220	14.96	8.39			
		MEDIA MUESTRAL	<u>21</u>	7	-	-	-
		LIMITE MÁXIMO	16.30	9.50	15.68	13.10	12.40
		LIMITE MÍNIMO	12.50	4.80			

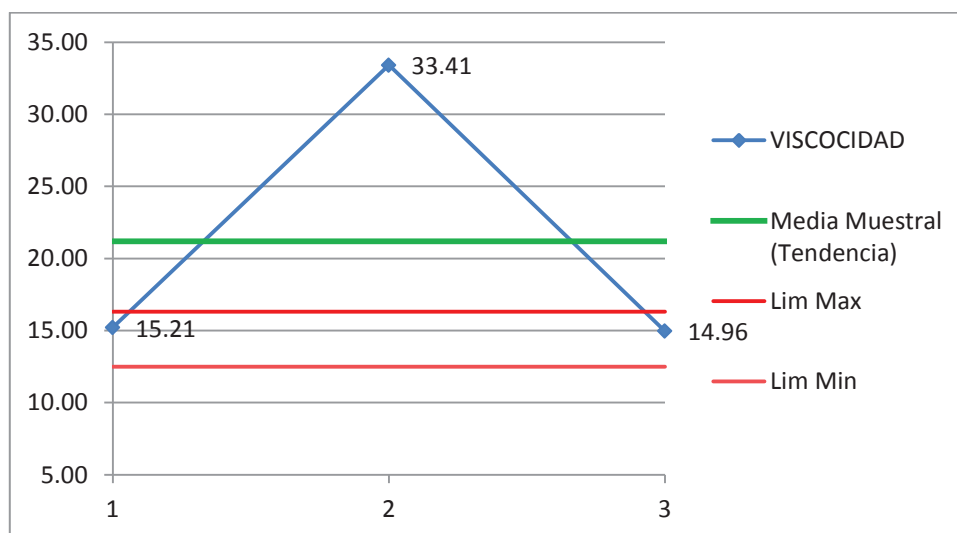


Figura 3. 32 Viscosidad. Equipo 709. FUENTE: Autor

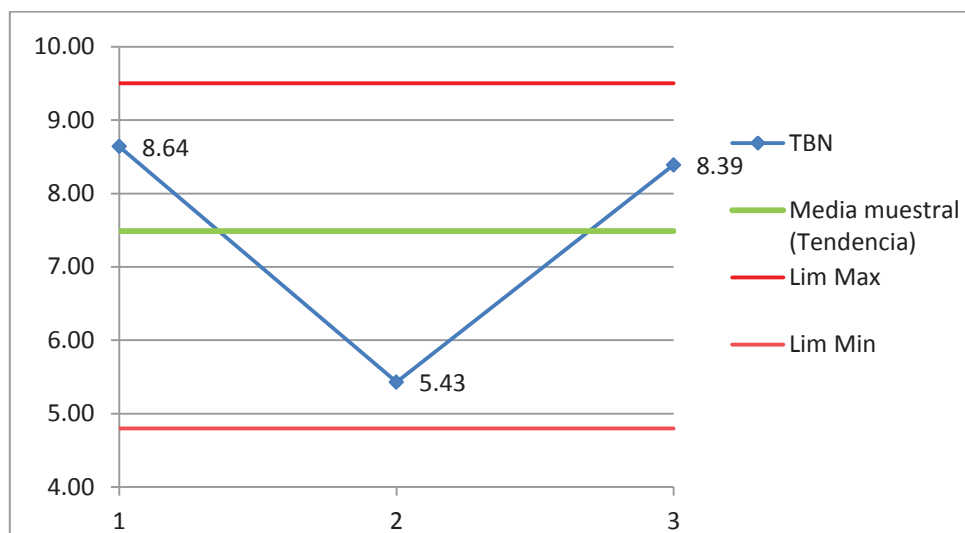


Figura 3. 33 TBN. Equipo 709. FUENTE: Autor

3.4.4.2 CONTAMINACIÓN

Tabla 3. 15 Evaluación de Parámetros de Contaminación. Equipo 709. FUENTE: Autor

PARÁMETROS DE CONTAMINACIÓN				
MAQUINA	COMPRESOR	RANGO PROMEDIO		
CÓD.	DOSSAN			
	709	SERVICIO [h]		198
TIEMPOS			PARÁMETROS	
No	HOROMETRO TOTAL	HOROMETRO SERVICIO	SILICIO, Si [ppm]	AGUA
1	3719	200	16	NEGATIVO
2	3892	173	12	NEGATIVO
3	4112	220	37	NEGATIVO
MEDIA MUESTRAL			21.67	-
LIMITE MÁXIMO			20	

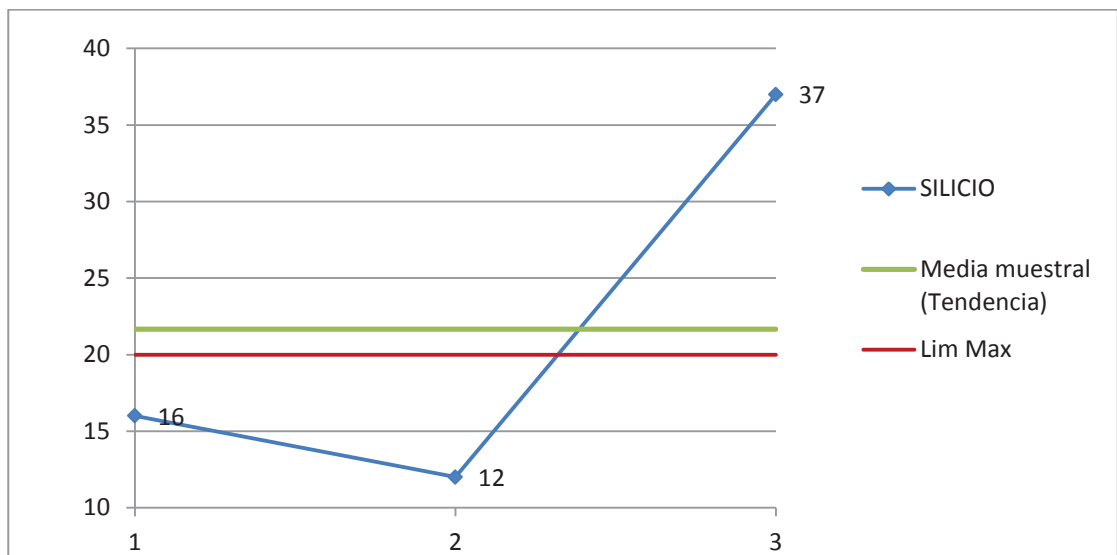


Figura 3. 34 Silicio. Equipo 709. FUENTE: Autor

3.4.4.3 DESGASTE

Tabla 3. 16 Evaluación de Parámetros de Desgaste. Equipo 709. FUENTE: Autor

PARÁMETROS DE DESGASTE									
MAQUINA		COMPRESOR DOSSAN		RANGO PROMEDIO		198			
CÓD.		709		SERVICIO [h]					
TIEMPOS				PARÁMETROS					
No	HOROMETRO TOTAL	HOROMETRO SERVICIO	CROMO, Cr [ppm]	COBRE, Cu [ppm]	ESTAÑO, Sn [ppm]	ALUMINIO, Al [ppm]	PLOMO, Pb [ppm]	HIERRO, Fe [ppm]	NÍQUEL, Ni [ppm]
1	3719	200	9	3	0	5	1	32	0
2	3892	173	17	6	0	10	3	62	1
3	4112	220	3	5	0	10	3	59	1
		MEDIA MUESTRAL	9.67	4.67	0.00	8.33	2.33	51.00	0.67
		LIMITE MÁXIMO	10	30	20	20	30	100	10

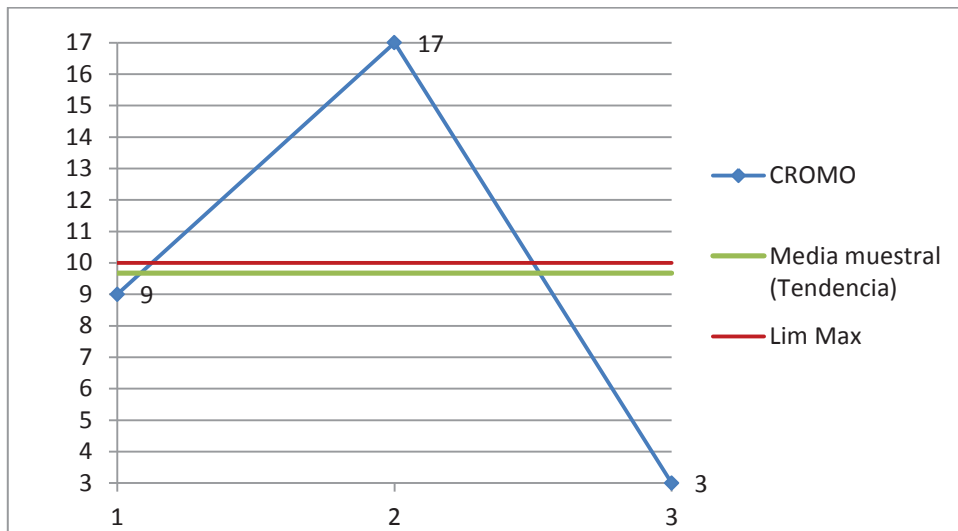


Figura 3. 35 Cromo. Equipo 709. FUENTE: Autor

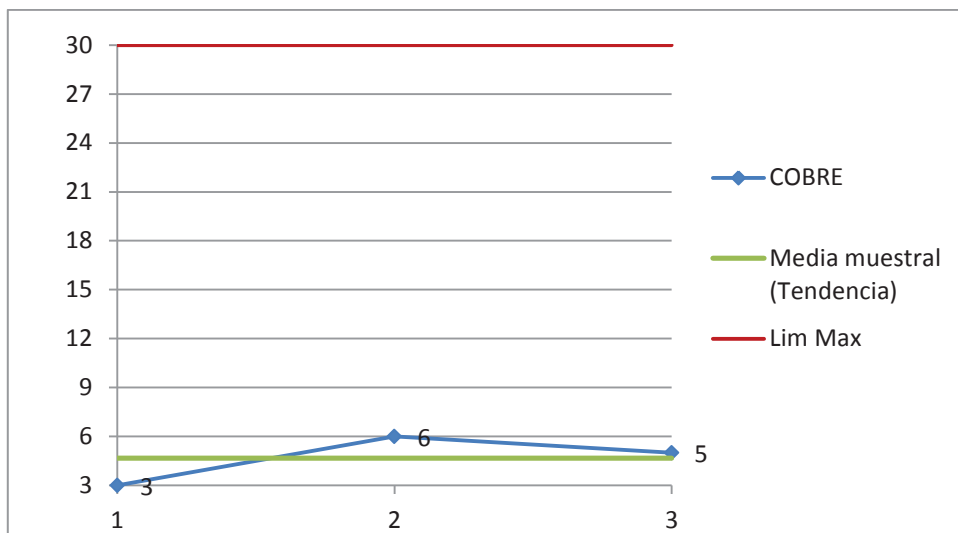


Figura 3. 36 cobre. Equipo 709. FUENTE: Autor

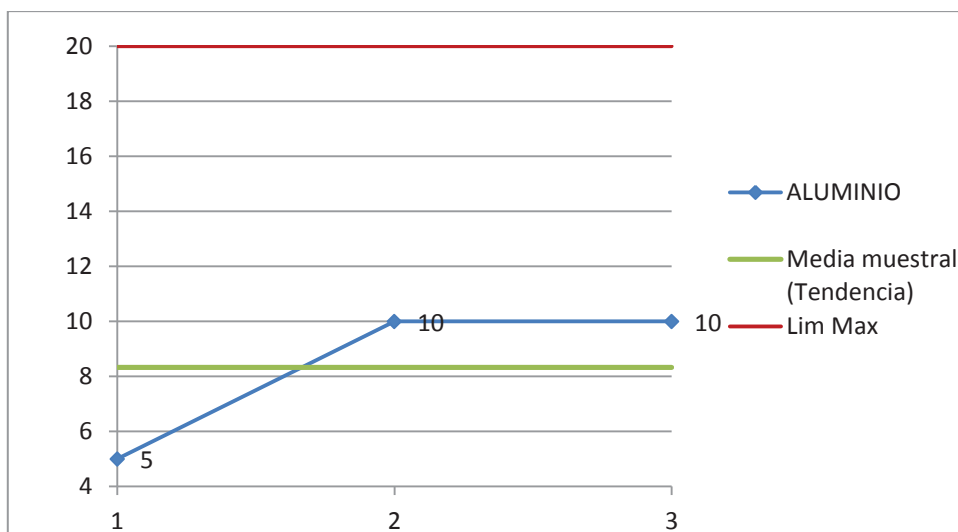


Figura 3. 37 Aluminio. Equipo 709. FUENTE: Autor

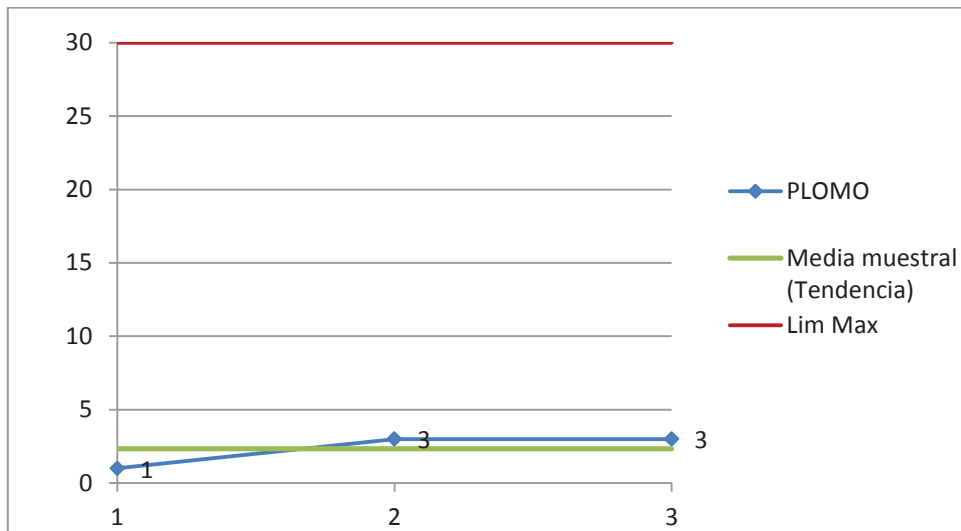


Figura 3. 38 Plomo. Equipo 709. FUENTE: Autor

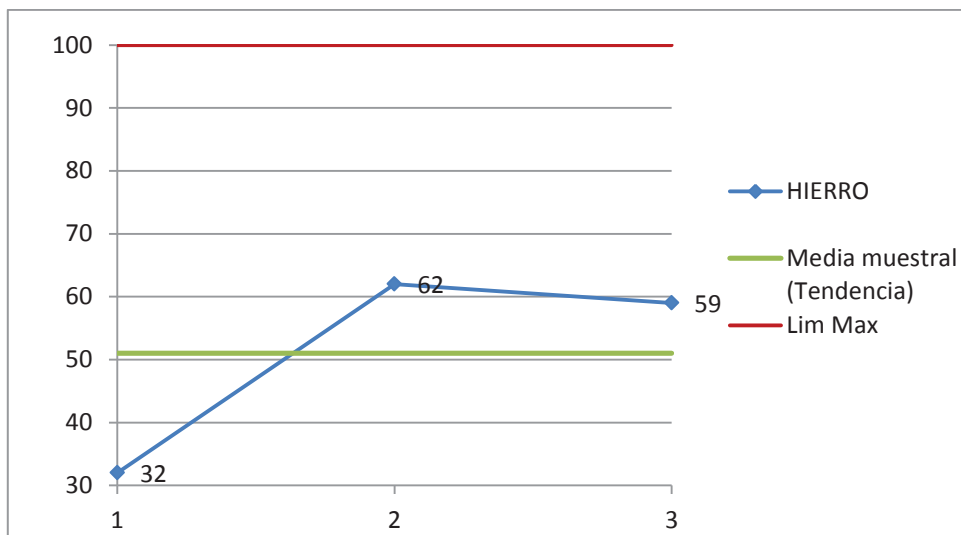


Figura 3. 39 Hierro. Equipo 709. FUENTE: Autor

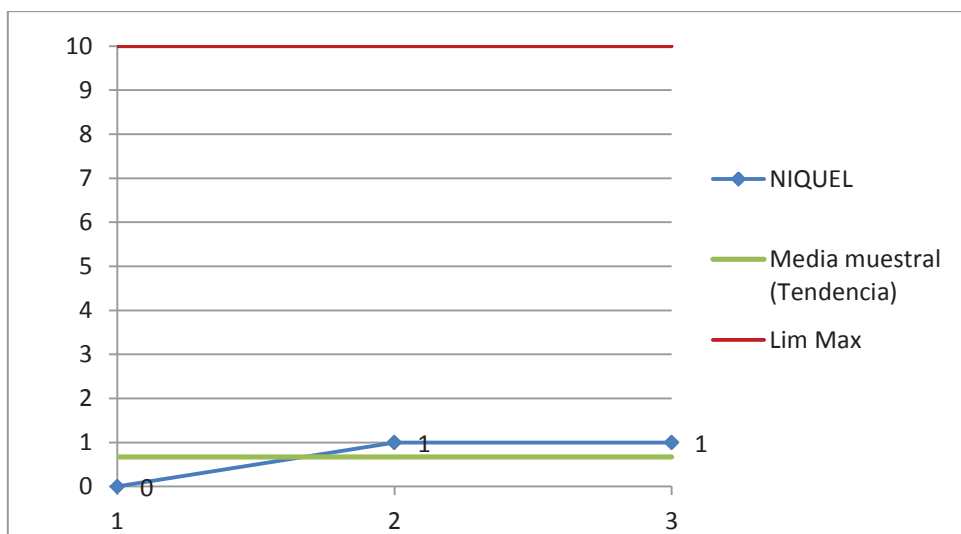


Figura 3. 40 Níquel. Equipo 709. FUENTE: Autor

3.4.4.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS.

SALUD

En el compresor se evidencia un problema con la viscosidad (Fig. 3.32), tenemos un pivote en la segunda muestra con un valor sumamente alto que genera un dato de tendencia fuera del límite, ambas circunstancias evidencian un comportamiento anormal de este parámetro para este punto. El valor de oxidación cercano al límite máximo evidenciaría un problema de oxidación presente en el lubricante que estaría elevando su viscosidad.

El TBN (Fig. 3.33) muestra una importante reducción en la segunda muestra de aceite, que se corresponde con el pivote de sulfatación que se presenta, estos dos factores hablan claramente de un problema de generación de ácidos dentro del motor que están atacando a los elementos. Recordando que la sulfatación genera ácidos inorgánicos muy corrosivos (en contraste con la oxidación que genera ácidos orgánicos sin sulfatos y menos potentes) deberíamos atender inmediatamente esta situación. La medida principal sería mejorar la calidad de combustible con que opera este equipo, recordemos que este es un motor de diseño actual y que no está pensado para trabajar con combustibles con altos contenidos de azufre.

CONTAMINACIÓN

La presencia de agua es negativa para todas las muestras. La contaminación por silicio tiene un pivote en la muestra tres y valores medios en las otras dos muestras que hacen que el dato de tendencia este fuera del límite máximo (Fig. 3.34), en consecuencia sería importante revisar la calidad del filtro de aire usado. El filtro que se usa es de tipo alternativo y como ya se acoto antes el motor es de diseño reciente y tiene una mayor susceptibilidad al uso de componentes o fluidos de trabajo de baja calidad, por lo cual se recomienda usar el filtro original o uno equivalente de alta calidad.

DESGATE

Los metales de desgaste presentan datos normales y datos de tendencia dentro del rango con excepción del cromo. Este metal (Fig. 3.35) presenta un pivote en la muestra dos y un valor límite en la muestra uno que evidencian un desgaste de superficie de elementos como bujes, cigüeñal y principalmente se presume de su árbol de levas alternativo, este desgaste es seguramente generado por los ácidos presentes en el lubricante, estos datos se corresponden con las lecturas altas de sulfatación.

3.4.5 MINICARGADORA HYUNDAI

El equipo 971 con motor Kubota, tiene un promedio de 75 días entre cambios de aceite. Por este motivo se consiguió recolectar dos muestras de aceite lubricante usado.

Tabla 3. 17 Resumen de Muestras. Equipo 971. FUENTE: Anexos B4, B7

MINI HYUNDAI 971		
REPORTE DE ANÁLISIS DE LABORATORIO		
LABORATORIO NUMERO	3531	5076
NOMBRE DEL LUBRICANTE:	UPTDX 15W40	UPTX 15W40
NOMBRE DEL CLIENTE	COANDES	COANDES
REQUERIDO POR:	CONAUTO QUITO	CONAUTO QUITO
REFERENCIA	OF.-228 DS	OF.-341 JC
NUMERO DE MUESTRA:	2	4
FECHA DE OBTENCIÓN:	20/7/2014	3/12/2014
FECHA DE RECEPCIÓN:	13/8/2014	4/12/2014
FECHA DE ENTREGA:	15/8/2014	10/12/2014
HORÓMETRO/KM TOTAL: HR	1304	1582
APARIENCIA	NEGRO	NEGRO
AGUA POR CREPITACIÓN	NEGATIVO	NEGATIVO
VISCOSIDAD A 100°C CST,ASTM 445	12.97	13.59
TBN , ASTM D-2896	6.83	7.95
OXIDACIÓN, ASTM E-2412		12.92
SULFATACIÓN, ASTM E-2412		20.79
NITRACIÓN, ASTM E-2412		0
METALES DE DESGASTE, ASTM D-6595		
METAL CROMO, Cr, ppm	5	1
METAL NÍQUEL, Ni, ppm	3	1
METAL COBRE, Cu, ppm	49	5
METAL ESTAÑO, Sn, ppm	0	0
METAL ALUMINIO, Al, ppm	13	5
METAL PLOMO, Pb, ppm	1	1
METAL HIERRO, Fe, ppm	155	45
METAL SILICIO, Si, ppm	14	6

3.4.5.1 SALUD

Tabla 3. 18 Evaluación de Parámetros de Salud. Equipo 971. FUENTE: Autor

PARÁMETROS DE SALUD							
MAQUINA		MINICARGADORA HYUNDAI			RANGO PROMEDIO		239
CÓD.		971			SERVICIO [h]		
TIEMPOS			PARÁMETROS				
No	HOROMETRO TOTAL	HOROMETRO SERVICIO	VISCOSIDAD [Cst]	TBN [mg Koh]	OXI [%]	SULFA [%]	NITRA [%]
1	1304	200	12.97	6.83			
2	1582	278	13.59	7.95	12.92	20.79	0.000
		MEDIA MUESTRAL	13.28	7.39	12.92	20.79	0.00
		LIMITE MÁXIMO	16.30	9.50	15.68	13.10	12.40
		LIMITE MÍNIMO	12.50	4.80			

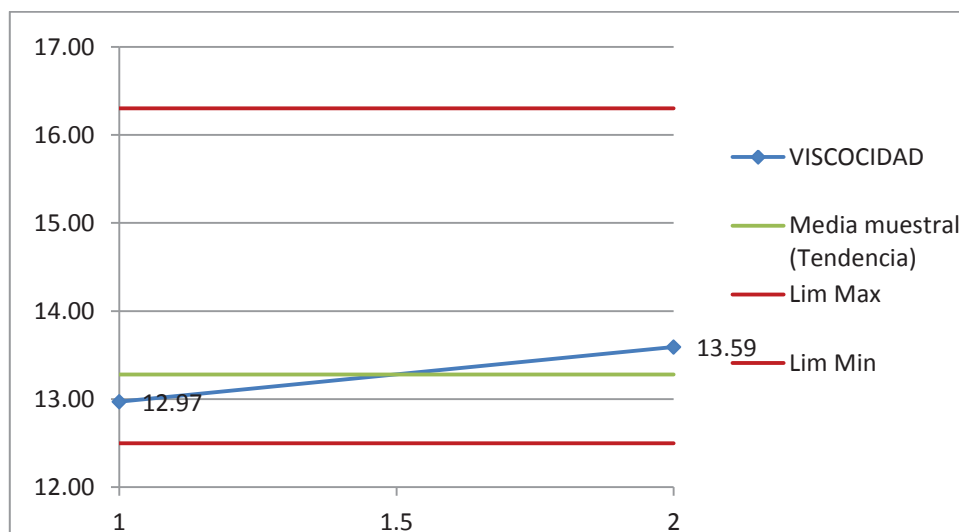


Figura 3. 41 Viscosidad. Equipo 971. FUENTE: Autor

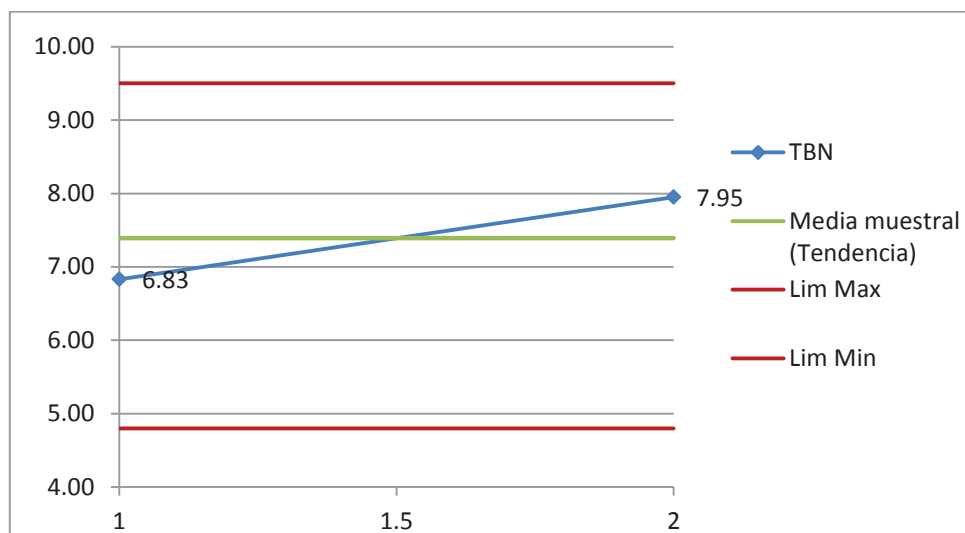


Figura 3. 42 TBN. Equipo 971. FUENTE: Autor

3.4.5.2 CONTAMINACIÓN

Tabla 3. 19 Evaluación de Parámetros de Contaminación. Equipo 971. FUENTE: Autor

PARÁMETROS DE CONTAMINACIÓN				
MAQUINA	MINICARGADORA HYUNDAI	RANGO PROMEDIO SERVICIO [h]		239
CÓD.	971			
TIEMPOS				
No	HOROMETRO TOTAL	HOROMETRO SERVICIO	SILICIO, Si [ppm]	AGUA
1	1304	200	14	NEGATIVO
2	1582	278	6	NEGATIVO
	MEDIA MUESTRAL		10.00	-
	LIMITE MÁXIMO		20	

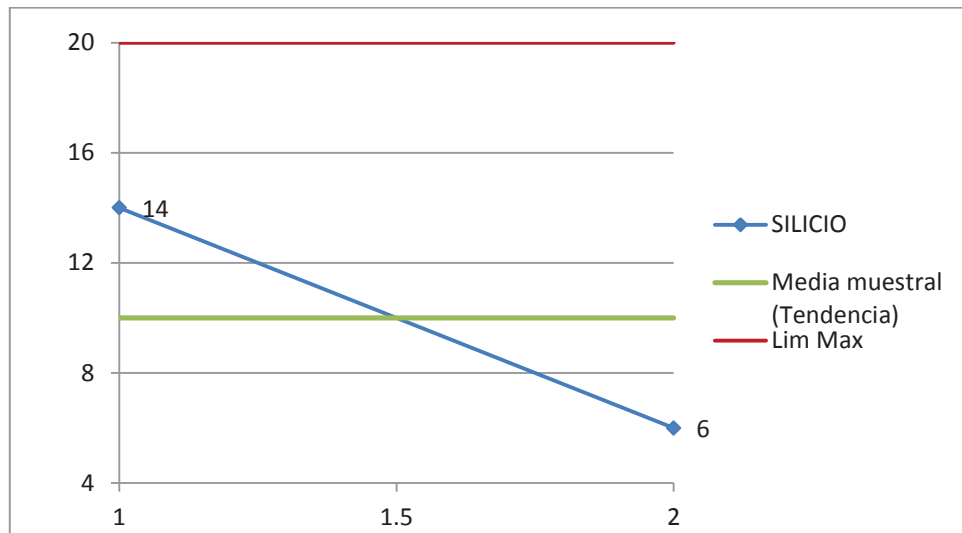


Figura 3. 43 Silicio. Equipo 971. FUENTE: Autor

3.4.5.3 DESGASTE

Tabla 3. 20 Evaluación de Parámetros de Desgaste. Equipo 971. FUENTE: Autor

PARÁMETROS DE DESGASTE									
MAQUINA		MINICARGADORA HYUNDAI		RANGO PROMEDIO SERVICIO		239			
CÓD.		971		[h]					
TIEMPOS				PARÁMETROS					
No	HOROMETRO TOTAL	HOROMETRO SERVICIO	CROMO, Cr [ppm]	COBRE, Cu [ppm]	ESTAÑO, Sn [ppm]	ALUMINIO, Al [ppm]	PLOMO, Pb [ppm]	HIERRO, Fe [ppm]	NÍQUEL, Ni [ppm]
1	1304	200	5	49	0	13	1	155	3
2	1582	278	1	5	0	5	1	45	1
*(NORM)									
		MEDIA MUESTRAL	3.00	27.00	0.00	9.00	1.00	100.00	2.00
		LIMITE MÁXIMO	10	30	20	20	30	100	10

*Valores de la muestra normalizados.

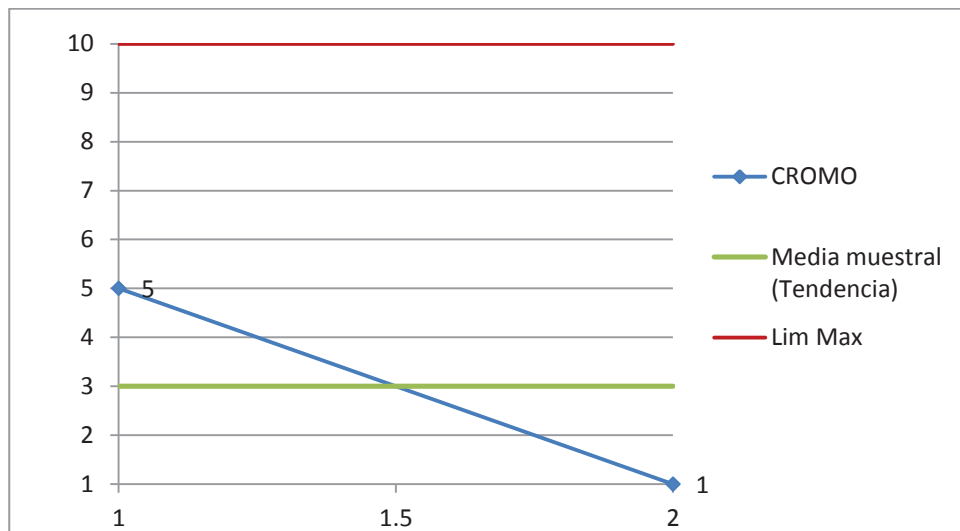


Figura 3. 44 Cromo. Equipo 971. FUENTE: Autor

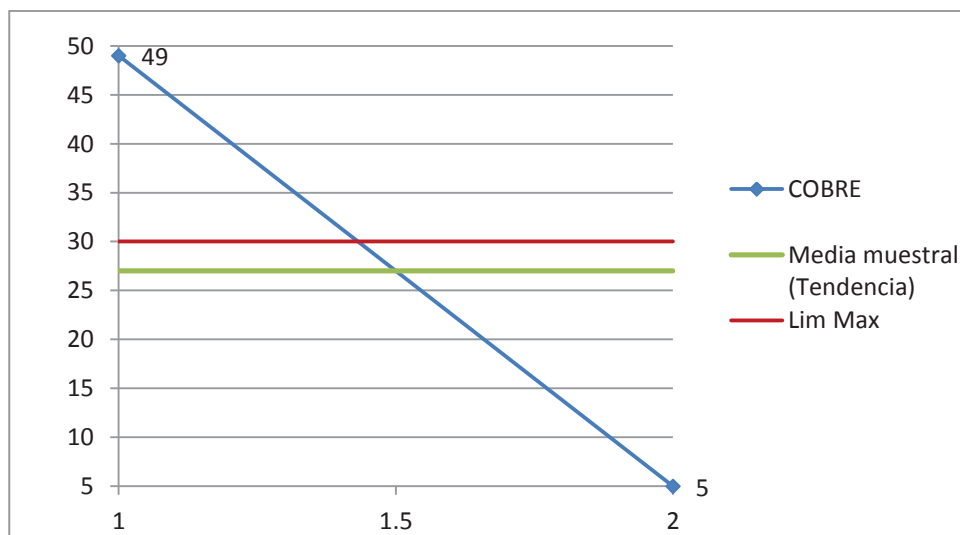


Figura 3. 45 Cobre. Equipo 971. FUENTE: Autor

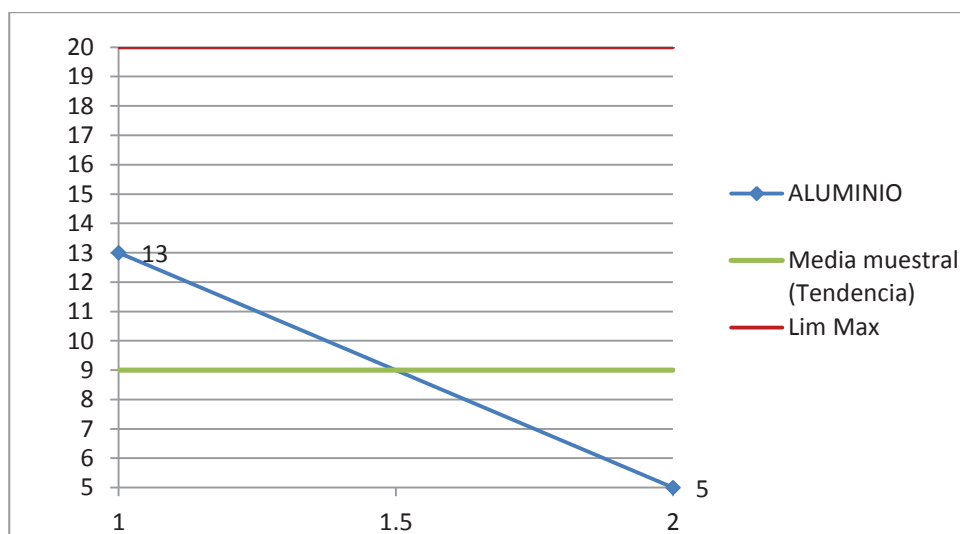


Figura 3. 46 Aluminio. Equipo 971. FUENTE: Autor

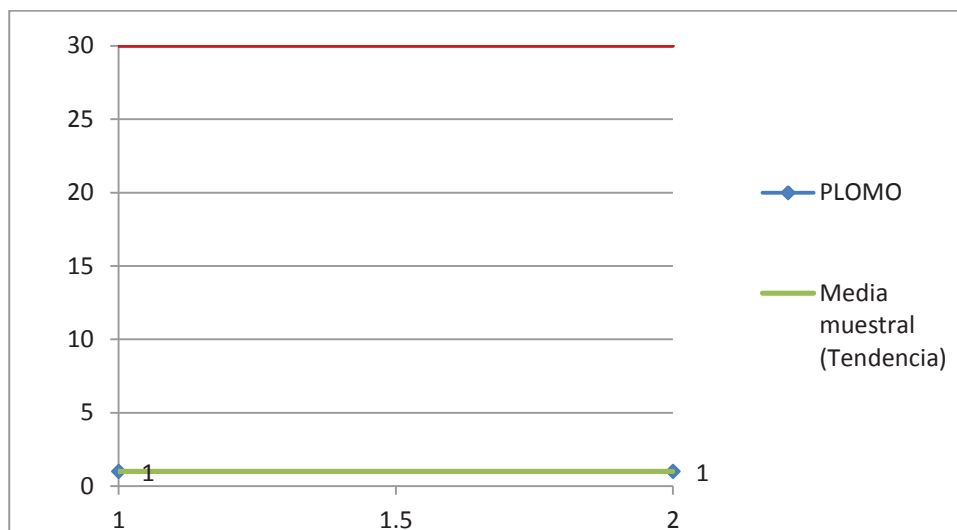


Figura 3. 47 Plomo. Equipo 971. FUENTE: Autor

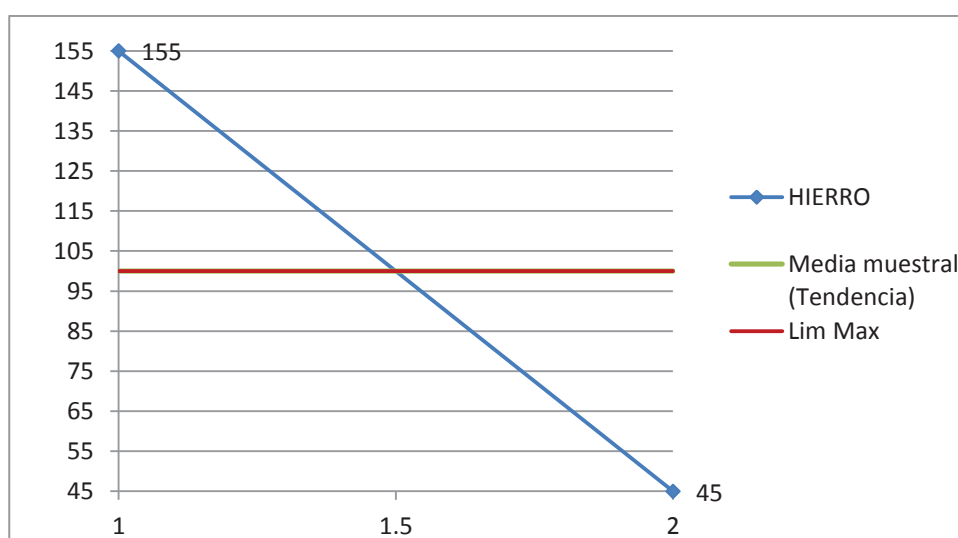


Figura 3. 48 Hierro. Equipo 971. FUENTE: Autor

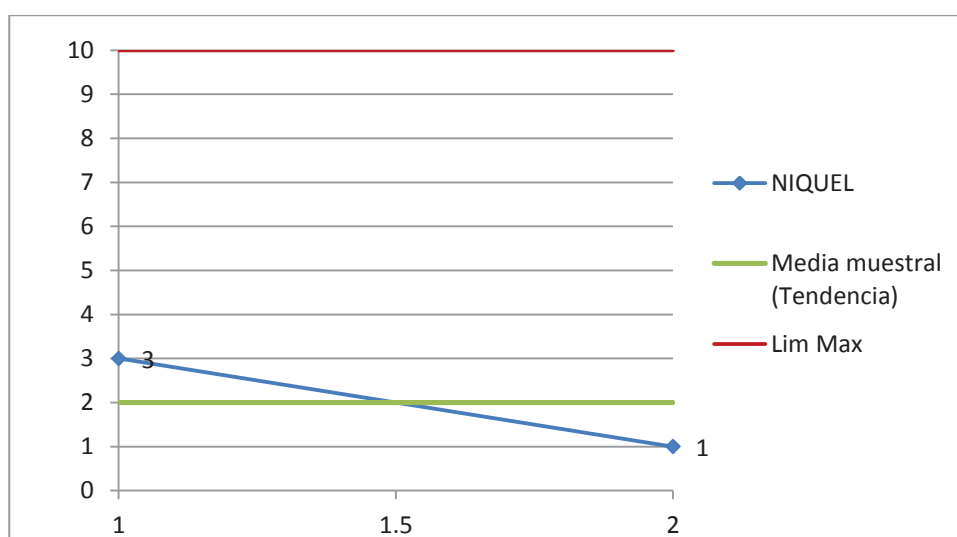


Figura 3. 49 Níquel. Equipo 971. FUENTE: Autor

3.4.5.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

SALUD

La viscosidad (Fig. 3.41) presenta un dato de tendencia menor que la línea base aunque aún dentro del rango aceptable, esto evidencia una disminución de la viscosidad cinemática del lubricante, si analizamos también los niveles de TBN (Fig. 3.42) vemos que en ambas muestra se redujo la reserva alcalina de combustible. Estos dos fenómenos sugieren dilución por combustible, otro aliciente para este diagnóstico es el importante nivel de sulfatación generado por el azufre que se presentaría por efecto de la presencia del diésel. Sería importante una revisión de sistema de inyección de combustible y también se recomienda usar un combustible con menor cantidad de azufre.

CONTAMINACIÓN

En cuanto a la contaminación, la Minicargadora presenta un estado normal. No presenta presencia de agua lo cual habla de un buen funcionamiento del sistema de refrigeración y la no existencia de fugas o fisuras en el block.

El dato de tendencia del silicio (Fig. 3.43) está bastante por debajo del límite máximo por lo cual no se presume la existencia de problemas en el circuito de aspiración de aire sobrealimentado.

DESGASTE

Dos son los metales de desgaste que evidencia problemas en el análisis del lubricante de la máquina, el cobre y el hierro. El resto de metales mantienen niveles por debajo del límite crítico.

La presencia en la muestra número uno de una muy alta cantidad de hierro (Fig. 3.48) da cuenta de un desgaste existente en el block y seguramente en los anillos de pistón. El cobre (Fig. 3.45) presente en el aceite usado provendría de desgaste en cojinetes y guías de válvulas. Que todos estos elementos presenten desgaste podría deberse a un fallo en el sistema de lubricación, siendo la bomba de aceite el principal componente (y estando constituida de hierro) se sugiere un chequeo y mantenimiento de la misma. El elemento aluminio (Fig. 3.46) posee un dato de tendencia normal dentro del rango lo cual nos permite diagnosticar un buen estado del turbo.

4. PROPUESTA DE MEJORA PROACTIVA DEL MANTENIMIENTO APLICADO A LA MAQUINARIA PESADA

El objetivo principal del presente proyecto es la mejora del actual proceso de mantenimiento. En este marco, se presenta una propuesta que permitirá dar una mejora al mantenimiento preventivo actual que posee la constructora COANDES.

La propuesta pretende mejorar el actual mantenimiento preventivo, incorporando a él un nuevo proceso de análisis del estado operativo de la maquinaria. Para ello primero se debe conocer el estado actual de los procesos de mantenimiento a fin de no partir desde cero ya que la idea general de este trabajo no establece la modificación total de la planeación ya establecida, sino un mejoramiento de la misma tomando en cuenta no modificar la jerarquía de mandos que ya está establecida por la empresa.

Posteriormente, nos valdremos de las herramientas del análisis de criticidad y del análisis de aceite desarrolladas en los dos capítulos previos de esta investigación, para definir las acciones puntuales que son de indispensable aplicación para la mejora de la confiabilidad y que deben ser aplicadas globalmente. Este punto se constituye en el paso predictivo del mantenimiento.

Como tercer puntal de la propuesta estableceremos un modelo de análisis de causas y efectos de las fallas. Modelo que el personal de la superintendencia de maquinaria de la empresa podrá usar para dar un mantenimiento desde un enfoque proactivo a los equipos con un sustento técnico adecuado; para este objetivo se aplicara un programa creado para la interpretación sencilla y rápida de análisis de muestras de aceite usado de motor.

Finalmente se propondrá otros recursos técnicos que servirán de complemento documental para una adecuada gestión de mantenimiento. una visión proactiva del mantenimiento que englobe también puntos clave de mantenimiento preventivo ya aplicado. Siempre buscando que las ideas aquí expuestas puedan tener una verdadera aplicabilidad en la operación futura de la empresa.

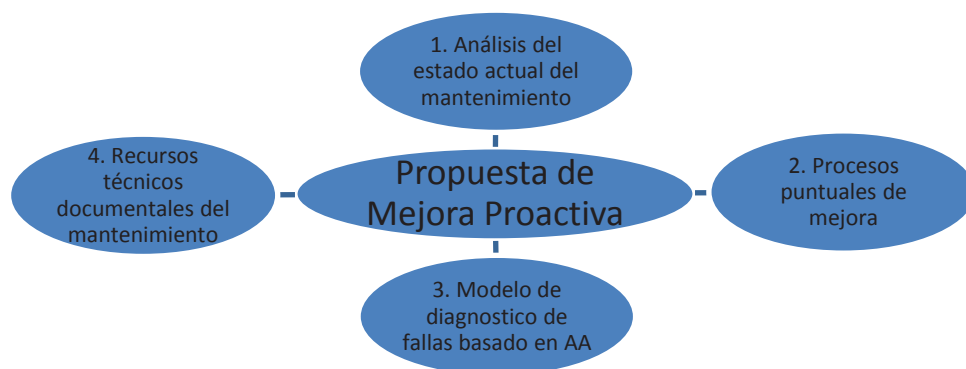


Figura 4.1 Esquema de la propuesta de mejora del Mantenimiento. FUENTE: Autor

4.1 ANÁLISIS DEL ESTADO ACTUAL DEL MANTENIMIENTO.

4.1.1 DESCRIPCIÓN DEL MANTENIMIENTO ACTUAL APLICADO

El departamento de mantenimiento y equipos describe a su planeación del mantenimiento de la maquinaria pesada como de tipo preventivo. Según la jefatura de mantenimiento, el modelo de mantenimiento aplicado consta de varios procesos que se enmarcan dentro de dos funciones, función administrativa del mantenimiento y función técnica del mantenimiento.

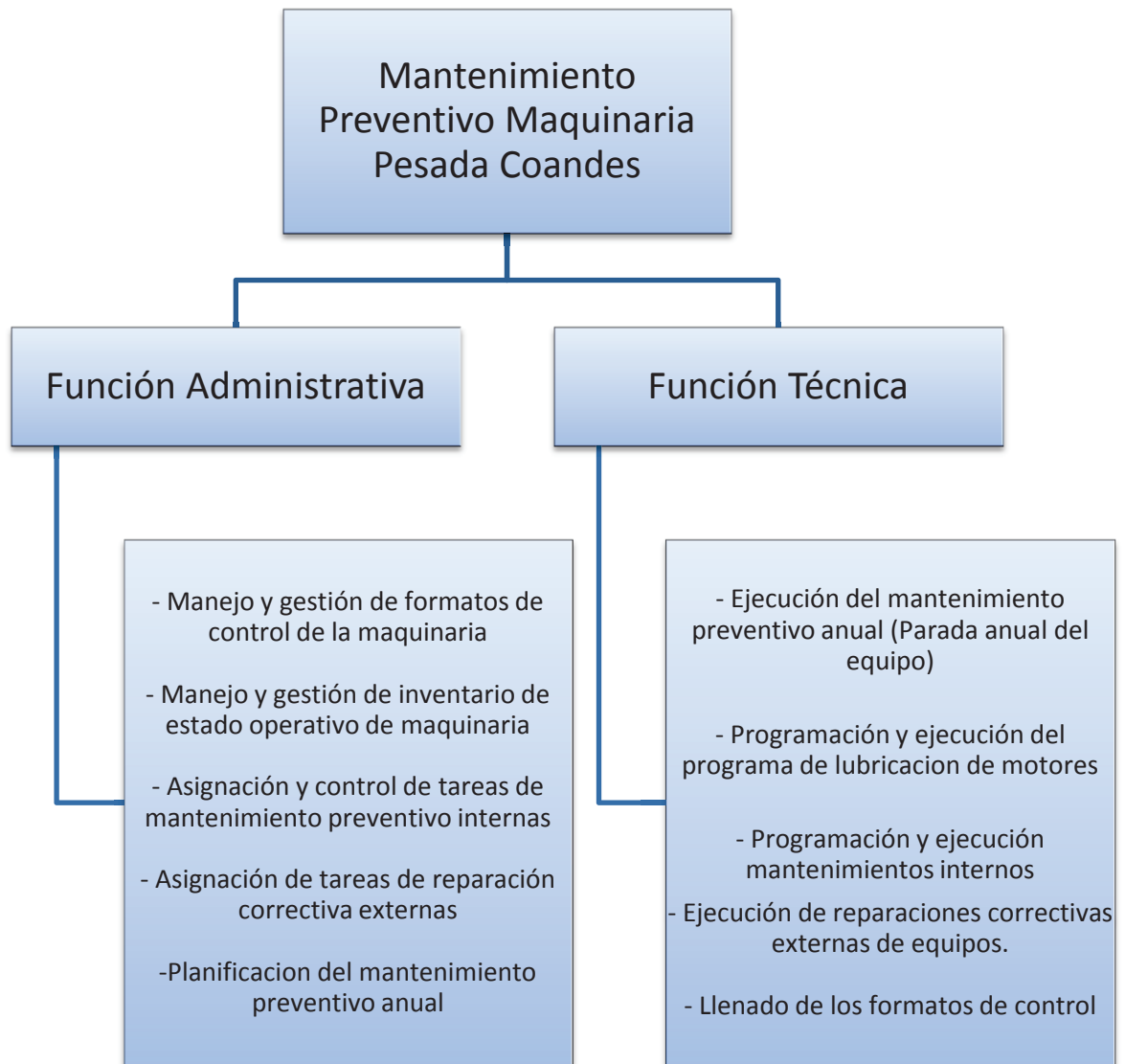


Figura 4. 2 Clasificación de los procesos actuales del manejo de mantenimiento de la empresa COANDES.
FUENTE: Autor

Analizado los procesos que componen el plan de mantenimiento implantado por el departamento observamos que el modelo es de tipo preventivo-correctivo. La gestión administrativa programa las acciones de mantenimiento y la función técnica ejecuta las mismas.

Los procesos son ejecutados por el personal de la Superintendencia de Mantenimiento; la jerarquía de cargos está establecida de manera lineal descendente y cada puesto dentro de la misma tiene asignados uno o más procesos. Esta jerarquía evidencia la concentración de actividades administrativas en la Jefatura de Mantenimiento, mientras que las actividades técnicas quedan a cargo del Supervisor de Obra y el personal residente.

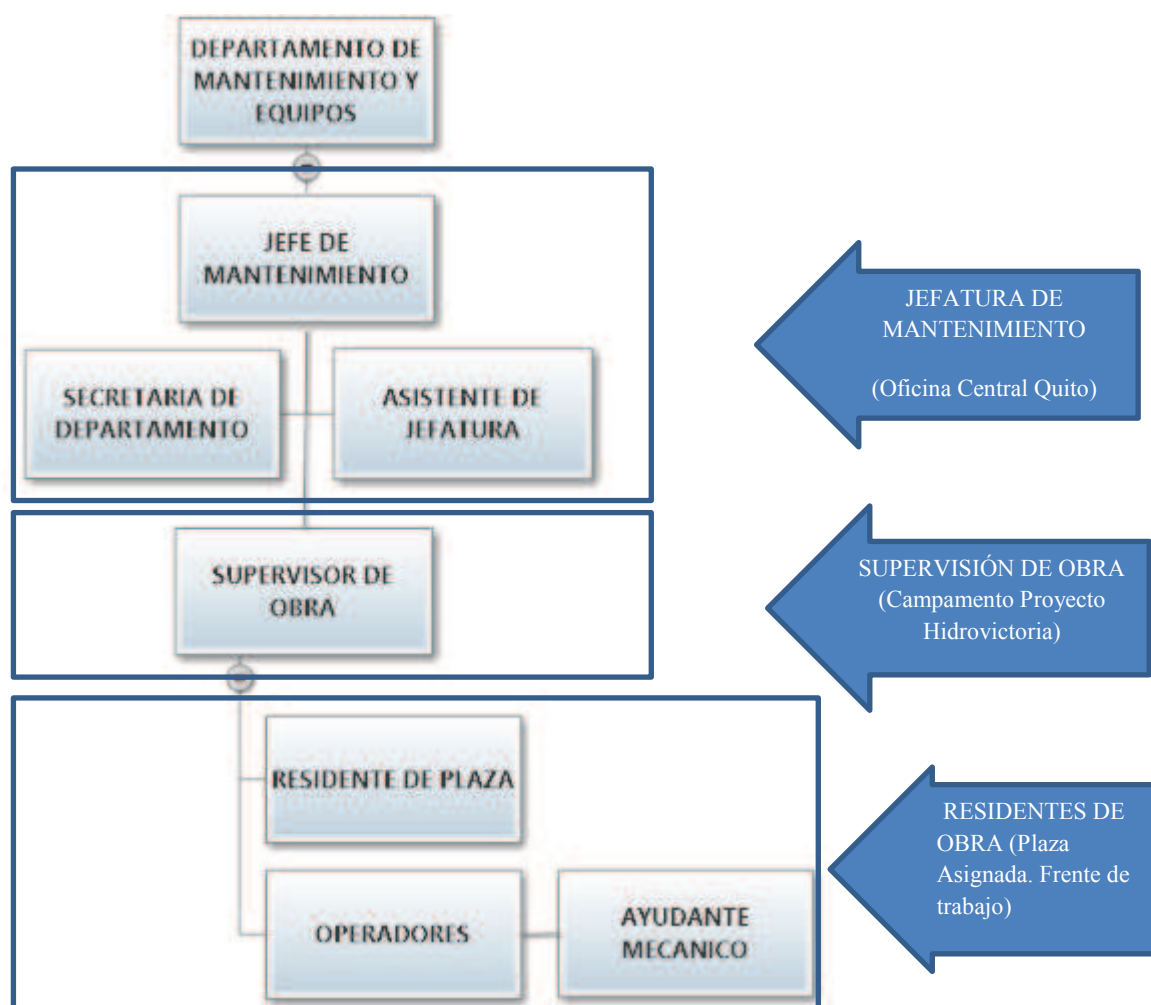


Figura 4. 3 Organigrama. Superintendencia de Mantenimiento FUENTE: Autor

4.1.2 FUNCIÓN ADMINISTRATIVA

La función administrativa del mantenimiento refiere a la planificación de mantenimientos, gestión documental y las tareas de asignación de trabajos, de todas las operaciones técnicas que realiza el departamento a través de su personal con el fin de mantener el buen estado operativo de la maquinaria.

La mayoría de los procesos administrativos están concentrados en la figura del Jefe de Mantenimiento quien los ejecuta a través de su grupo de trabajo (Asistente de jefatura y Secretaria de departamento), desde la ciudad de Quito donde se asienta la oficina central de la empresa. Únicamente la gestión de formatos de control de la maquinaria se realiza por parte del Supervisor de obra directamente desde su oficina en el campamento del proyecto.

El manejo y gestión de inventario de estado operativo de maquinaria es ejecutado por la Jefatura de Mantenimiento, el modelo que se aplica se basa en la auditoria del informe semanal proveniente desde el proyecto, mediante este se cataloga el estado operativo de la máquina. Se actualiza constantemente tanto por las eventuales entradas y salidas de operación de los equipos y por la adquisición de equipos.

La asignación de reparaciones correctivas externas se maneja en función de las solicitudes de reparación que se envían hasta la oficina central por parte del Supervisor de Obras. El Jefe de Mantenimiento decide la asignación de trabajos tras el análisis de las necesidades propias de cada caso. En caso de ser reparaciones menores generalmente se recurre a contratistas que se movilizan hacia el campamento del proyecto. En el caso de reparaciones mayores o reparaciones catastróficas (entendidas como inutilizantes de la maquina), la maquinaria es trasladada a talleres especializados en la ciudad de Quito.

La planificación del mantenimiento preventivo anual, entendida como el proceso de la para anual de la maquinaria con fines de evaluación de su estado técnico, reparación de componentes averiados y puesta a punto; se planifica por parte de la Jefatura de Mantenimiento en base a la necesidad de máquinas operativas en el proyecto, en coordinación con la superintendencia de obras.

La asignación y control de tareas de mantenimiento preventivo internas, se refiere a la asignación de responsabilidades que realiza la Jefatura de Mantenimiento para el personal residente del proyecto quienes son los encargados de la ejecución de trabajos preventivos sobre la maquinaria como son: abastecimiento de combustibles, cambios de lubricantes, cambios de consumibles y abastecimiento de repuestos menores.

Finalmente el manejo y gestión de las fichas de control de la maquinaria está bajo la responsabilidad del Residente de Proyecto. Este se encarga de evaluar y registrar la información de las fichas de control enviadas por los Residentes de Plaza quienes se encuentran directamente en los distintos puntos de las obras de construcción. Con esta información elabora el informe semanal de maquinaria que consta de los formatos de registro de mantenimiento, registro de partes diarios de maquinaria y registro de gastos; este reporte se envía a la Jefatura de Mantenimiento.

Tabla 4. 1 Procesos actuales y cargos responsables. Función administrativa. FUENTE: Autor

RESPONSABLES	PROCESO
Jefatura de Mantenimiento	Manejo y gestión de inventario operativo
	Asignación y control de tareas de mantenimiento preventivo internas
	Asignación de tareas de reparación correctiva externas
	Planificación del mantenimiento preventivo anual
Supervisión de Obra	Gestión de fichas de control de maquinaria y elaboración del informe semanal

4.1.3 FUNCIÓN TÉCNICA

La función técnica refiere a la programación y ejecución de las tareas de mantenimiento mecánico que se realizan actualmente a la maquinaria pesada, involucra la parte operativa del plan de mantenimiento de la empresa. Los procesos técnicos son tanto de tipo preventivo como correctivo, y son realizados basándose en el conocimiento técnico de sus ejecutores.

Los procesos que están sujetos a programación son planificados por el Supervisor de obra, quedando su ejecución principalmente a cargo del personal residente. Además Supervisión de obra está a cargo de la logística y control de las tareas que requieren intervención de personal externo a la empresa.

El mantenimiento programado anual se constituye como el principal proceso técnico preventivo que se ejecuta en el marco del plan de mantenimiento actual, este es programado desde Quito por parte de la Jefatura de mantenimiento y ejecutado por terceros bajo la auditoria del Supervisor de obra. Cada máquina tanto de equipo mayor y maquinaria general, se somete una vez por año a la para programada de su operación a fin de ser trasladada a un taller especializado en la ciudad de Quito, donde se realiza un inspección global de los sistemas, evaluación del motor, reparación o sustitución de componentes averiados, puesta a punto, latonería y pintura. El supervisor de obra se encarga de la logística y el control de este proceso.

El Residente de plaza quien es el coordinador de los operadores y asistentes mecánicos, ubica su puesto de trabajo en cada una de las plazas de la construcción de proyecto (por ejemplo túnel de captación, casa de máquinas). Es el encargado del llenado de las fichas de control con la información de las maquinas asignadas a su plaza. Actualmente se usa dos formatos para el control de la maquinaria. Ambos formatos son auditados además por el Supervisor de obra:

- Parte Diario de Maquinaria
- Solicitud de Trabajo de Taller Mecánico

La programación de la lubricación de motores y mantenimientos internos (reparaciones menores, cambio de fluidos de trabajo, cambio de consumibles de las maquinas) está a cargo del Supervisor de Obras quien planifica los tiempos de cambio para cada máquina. Dejando el control y logística de los trabajos al Residente de Plaza quien los ejecuta a través de los ayudantes mecánicos o de ser necesario los operadores.

Tabla 4. 2 Procesos actuales y cargos responsables. Función técnica. FUENTE: Autor

RESPONSABLES	PROCESO
Supervisión de Obra	Ejecución del mantenimiento preventivo anual de la maquinaria
	Programación del programa de lubricación de motores
	Programación de mantenimientos internos
	Control de mantenimientos correctivos externos
Residente de Plaza	Ejecución de trabajos de lubricación de motores
	Ejecución de mantenimientos internos
	Llenado de formatos de control

4.2 PROCESOS PUNTUALES DE MEJORA DEL MANTENIMIENTO

En los capítulos tres y cuatro del presente proyecto se presentó los resultados de la aplicación de las herramientas de análisis de criticidad y análisis de aceite sobre la maquinaria pesada de la empresa Coandes. Tras analizar los resultados que arrojan estas herramientas podemos encontrar deficiencias tanto en los procesos administrativos y principalmente en los procesos técnicos.

Entre los problemas encontrados tenemos desconocimiento de las maquinas con baja confiabilidad operacional susceptibles a fallas, desconocimiento del estado general de algunas unidades tanto de equipo mayor y maquinaria general, problemas de contaminación por polvo en los circuitos de admisión de aire en varias máquinas, problemas de altas concentraciones metales de desgaste encontrados en el aceite usado y uso de combustible de muy baja calidad.

Por esta razón se proponen algunas acciones puntuales que se deberían incorporar prontamente a fin de subsanar estas falencias. Se pretende que estas soluciones se fusionen con los procesos de mantenimiento ya establecidos, a fin de que puedan ser implementadas por el personal ya existente.

4.2.1 REGISTRO Y ANÁLISIS PERMANENTE DE LA CRITICIDAD DE MAQUINARIA

El análisis de criticidad es una herramienta predictiva que puede aplicarse permanentemente por parte de la superintendencia de mantenimiento con el fin de conocer el estado de la confiabilidad operacional de los equipos, para de esta manera dirigir la atención sobre ellos.

Basándonos en la metodología establecida en el capítulo dos de la presente investigación, podemos definir un esquema de trabajo simplificado que nos ayude a conocer la criticidad de las maquinas el cual pueda ser aplicado por la superintendencia de mantenimiento a través del supervisor de obra. Siendo el supervisor de obra quien indexa y registra las fichas de control tiene la información suficiente del estado de las maquinas, de ahí que se le asigne a él esta responsabilidad.

La idea general de este análisis de criticidad permanente implica que el responsable defina una grupo de máquinas bimensualmente de indistinta categoría y no concurrentes en el tiempo, en ellas aplicara el formato de análisis de criticidad (Fig.4.6) y la matriz de criticidad (Fig. 4.7) establecidos en el punto 2.3.3 de la presente investigación. Los criterios para la evaluación de los parámetros de Frecuencia de fallas, Impacto operacional, Flexibilidad Operacional, Costo de Mantenimiento e Impacto sobre la seguridad serán los ya definidos en el punto 2.3.1.



COANDES Cía. Ltda.

ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE EQUIPOS									
CATEGORÍA:					UBICACIÓN:				
FACILITADOR:									
CÓD.	DETALLE	MARCA	FACTOR DE PONDERACIÓN						CRITICIDAD
			FF	IO	FO	CM	ISA	C	

Figura 4. 6 Formato de Análisis de Criticidad de equipos. FUENTE: Autor

FRECUENCIA	4	MC	MC	AC	AC	AC
	3	MC	MC	MC	AC	AC
	2	BC	BC	MC	AC	AC
	1	BC	BC	BC	MC	AC
		10	20	30	40	50
CONSECUENCIAS						
		BAJA CRITICIDAD		(BC)		
		MEDIA CRITICIDAD		(MC)		
		ALTA CRITICIDAD		(AC)		

Figura 4. 7 Formato de Matriz de Criticidad. FUENTE: Autor

El objetivo de este análisis in situ será la identificación de máquinas potencialmente vulnerables al fallo, de esta manera se podrá realizar sobre ellas acciones de mantenimiento preventivo internas. Además de esta manera el Supervisor de taller posee una herramienta para medir la confiabilidad operacional de sus equipos y puede prevenir a Jefatura de Mantenimiento sobre posibles reparaciones correctivas futuras.

Otro de los objetivos de la incorporación del análisis de criticidad permanente es definir equipos sobre los cuales aplicar el modelo de diagnóstico de causas y efectos tratado en esta tesis en el punto 4.3.

Finalmente esta metodología de análisis puede ser extendida a otro tipo de maquinaria manejada por la empresa, tal como vehículos y equipo menor; adaptando los criterios de ponderación a las características particulares de estos equipos.

4.2.2 MEJORA DE LOS SISTEMAS DE FILTRACIÓN DE ACEITE Y AIRE.

Uno de los problemas que arroja la evaluación de los resultados del análisis de aceite, es la existencia de un importante nivel de contaminación por silicio mayor a 20 ppm y altas concentraciones de metales de desgaste en tres de los motores analizados. Este fenómeno deja entrever que los elementos filtrantes usados en los equipos no son adecuados para las condiciones de trabajo que enfrentan.

4.2.2.1 FILTROS DE AIRE

El sistema de admisión de aire en los motores diésel debe estar preparado para dirigir, aislar y capturar los contaminantes especialmente el polvo antes de que lleguen al mismo. Los factores principales que afectan a la selección y el rendimiento del elemento filtrante son: [15]

- El ambiente donde funciona el motor y la cantidad de polvo presente.
- El espacio disponible para la instalación.
- El servicio y el intervalo de servicio del filtro.

Atendiendo al primer criterio, el ambiente donde se desenvuelven los motores de la maquinaria se puede catalogar como crítico. Los equipos trabajan en condiciones de saturación de polvo que se presentan dentro de las galerías que se construyen bajo tierra, esto por requerimientos de los proyectos de tipo hidroeléctrico que ejecuta la compañía.

De esto se desprende la necesidad de un mejor criterio de mantenimiento para los depuradores de aire que se instalan en los equipos. La propuesta de mejora planteada para este punto es la adopción de un periodo de recambio de los filtros menor al actual.

Actualmente la frecuencia de recambio de los filtros de aire se maneja en torno a las 200 horas, coincidiendo con el cambio del fluido lubricante y filtro de aceite. Con esta frecuencia atendemos a pivotes de concentración de silicio que inclusive duplican el valor crítico de 20ppm presentados en color rojo en la Tabla 4.3.

La Tabla 4.3 también evidencia la normalización de estos valores para 100 horas de servicio, donde podemos ver que para esta frecuencia de servicio todos los valores se encuentran dentro del límite. De allí que podemos deducir que una frecuencia promedio de 100 horas entre cambios del filtro de aire es la más adecuada para las tres máquinas que presentan concentraciones altas.

Tabla 4. 3 Pivotes de concentraciones de silicio de la maquinaria analizada. FUENTE: Autor

EQUIPO	PIVOTE MAYOR* (N HORAS)	PIVOTE MAYOR* NORMALIZADO (100 HORAS)
Cargadora de Túnel	50 (200 Horas)	25
Dumper	29 (178 Horas)	16.2
Compresor	37 (220 Horas)	16.8
Minicargador	14 (200 Horas)	7

* Valores de concentración del silicio en ppm

4.2.2.2 FILTROS DE ACEITE

De los análisis de aceite se desprende también la evidencia de altas concentraciones de metales de desgaste, estos pivotes superan los límites críticos respectivos de cada metal. De allí que se verifica la necesidad de un mejor elemento filtrante que permita disminuir la presencia de estas partículas suspendidas en el aceite.

Actualmente la empresa COANDES usa para su flota de máquinas filtros de gama baja constituidos por un elemento filtrante de celulosa, que son de fácil adquisición en nuestro medio. Los filtros de gama baja solo permiten la retención de las partículas de aceite más grandes (mayores a 10 μm), razón por la cual las partículas menores se mantienen en el fluido.

Los filtros de gama alta que poseen un elemento filtrante sintético, permiten una retención de partículas en un 40.15% más que los filtros de gama baja, además permiten la reducción del consumo de combustible en un 5.8%. Los beneficios de usar filtros de aceite de gama alta son muchos en relación al costo que se debe pagar por ellos (representan 4 veces el costo de un filtro de gama baja), principalmente por que incrementan la vida útil del motor ya que impiden la circulación de partículas de desgaste en el sistema de lubricación y por tanto generan menos fricción en las zonas de tolerancia mecánica. [16]

Tabla 4. 4 Comparación del medio filtrante usado en los filtros de gama alta y baja.
FUENTE: filtroslys.com.pe [17]

FILTRANTE DE CELULOSA (Gama Baja)	FILTRANTE SINTÉTICO (Gama Alta)
Fabricado a partir de fibra natural recubierta con resina sintética.	Fabricado de fibra sintética (polyester, fibra de vidrio)
Más económico por tanto más extendido su uso.	Más costoso. Usado en aplicaciones de alta eficiencia y mayor vida útil.
Fibras irregulares y distribución de poros no uniforme.	Fibras delgadas y uniformes, distribución de poros más pequeña.
Efectivo desde el rango de 2 micras.	Rango de filtración de 10 a 40 micras.

Tomando en cuenta estos datos y recordando la necesidad de la reducción de las partículas de desgaste circulantes en el motor, se propone la adopción de filtros de gama alta de polyester o fibra de vidrio para uso global en los equipos de la empresa.

4.2.3 USO DE COMBUSTIBLE DE ALTA CALIDAD.

Otro de los puntos importantes que se deben mejorar dentro del proceso de mantenimiento de la maquinaria, es el uso de combustible diésel de buena calidad.

Los análisis de aceite evidencian un alto nivel de sulfatación en todos los equipos, además los análisis ponen de manifiesto disminuciones del TBN considerables en equipos como el Dumper (Fig. 3.33) y el compresor (Fig. 3.42). Estos datos implican que dentro del aceite se está produciendo la formación de ácidos que atacan a la superficie de los elementos. Si bien el aceite usado tiene un límite crítico de 4.80 que no es alcanzado por ninguna de las muestras, la disminución de la reserva alcalina nos demuestra que se está usando un aceite con un nivel muy alto de azufre.

En el Ecuador según los registros oficiales se distribuyen tres tipos de diésel. Premium para las ciudades de Quito y Cuenca con un porcentaje de 0,05% de azufre, Diésel 2 para el uso particular y comercial en el resto del país con un porcentaje de 0,7% y Diésel 1 de uso restringido para las industrias que lo requieren con un máximo de 0,3% de azufre. [18]

COANDES adquiere en el terminal Beaterio en el sur de la ciudad de Quito el combustible Diésel 2 con un porcentaje real de azufre del 0,72%. [14] Este porcentaje corresponde a una concentración de 7200 ppm de azufre en el combustible que también contiene una cantidad elevada de aromáticos.

Tabla 4. 5 Niveles de azufre en el Diésel Tipo I y Tipo II. FUENTE: Autor [14] [18]

TIPO	Azufre (%)	Azufre (ppm)
DIÉSEL 1	0,72	7200
DIÉSEL 2	0,30	3000

Recordando que el nivel del TBN en el aceite es inversamente proporcional al contenido de azufre del diésel y que la sulfatación evidencia un nivel alto de ácidos en el combustible; se recomienda el uso en la maquinaria pesada de Diésel 1. Este combustible posee una concentración de 3000 ppm de azufre que en comparación reducirá la formación de ácidos inorgánicos por ende permitirá una menor corrosión de los elementos internos de los motores que no verán atacados sus acabados superficiales (disminuyendo las concentraciones de cobre y estaño); de esta manera se justifica el gasto económico con la prolongación de la vida útil.

4.3 MODELO DE DIAGNOSTICO DE FALLAS FUNDAMENTADO EN EL ANÁLISIS DE ACEITE

El presente trabajo de tesis tiene como finalidad la presentación de herramientas que permitan la mejora del actual proceso de mantenimiento preventivo evolucionando en un enfoque predictivo - proactivo. El mantenimiento proactivo entendido como una filosofía que busca la detección y corrección de las causas que conducen al fallo de la máquina, requiere de una herramienta técnica que permita realizar este proceso de identificación de causas– efectos.

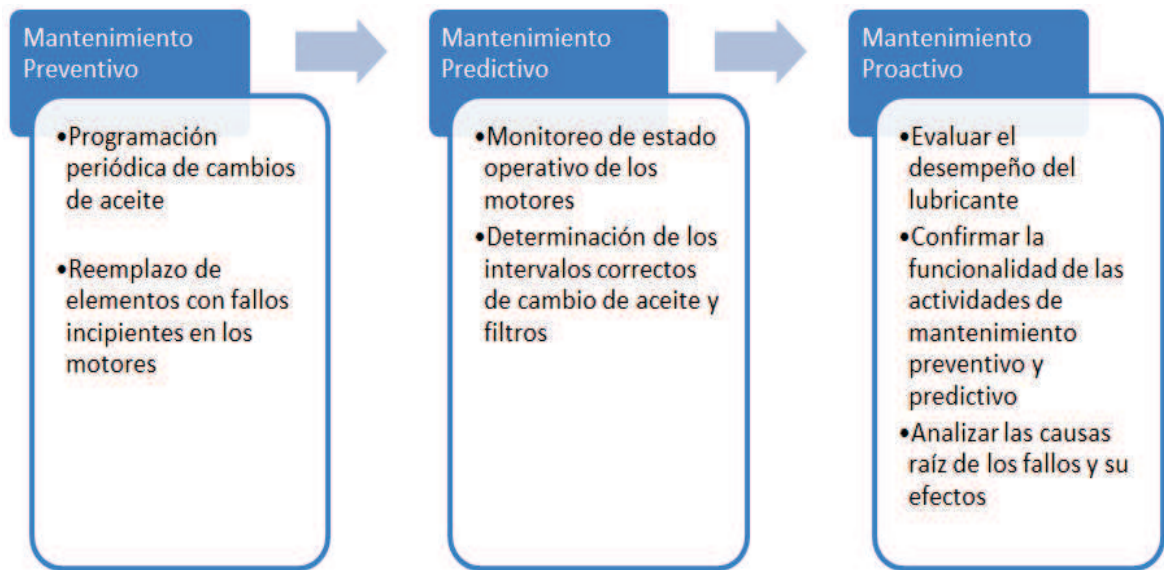


Figura 4. 8 Evolución del mantenimiento propuesto. FUENTE: Autor

En este marco se presenta un modelo que basado en la realización de análisis de aceite a la maquinaria, la posterior interpretación de resultados de este análisis y finalmente el establecimiento de la relación entre estos resultados con las fallas de los equipos; nos permitirá emitir un diagnóstico completo del estado de los motores.

Este método se piensa para que sea aplicado por Supervisor de Obra pero puede ser aplicado por cualquier técnico de la superintendencia de mantenimiento ya que presenta un proceso ordenado de trabajo que aplicado esquemáticamente tendrá como resultado el mejoramiento de la eficiencia de la maquinaria. En la figura se presenta un esquema de los pasos seguir en el método propuesto.

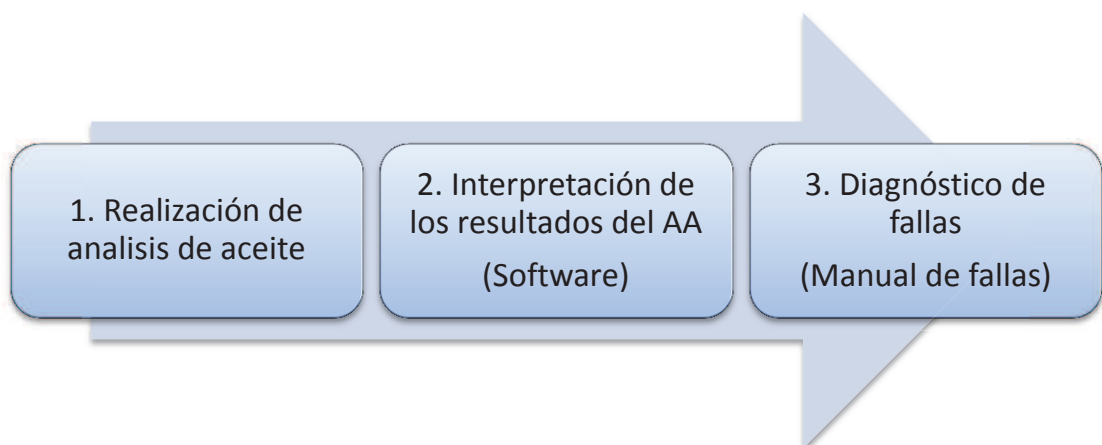


Figura 4. 9 Esquema de pasos. Modelo de diagnóstico de fallas. FUENTE: Autor

4.3.1 REALIZACIÓN DEL ANÁLISIS DE ACEITE

El primer punto es la implementación del análisis de aceite en los motores de la maquinaria, para una correcta realización de este proceso el técnico debe tener en cuenta dos puntos muy importantes como son la definición de equipos objeto de aplicación y el proceso de toma de muestras.

En cuanto a la ejecución de los análisis de laboratorio, la empresa COANDES tiene la facilidad de contar con un servicio de análisis de muestras en el laboratorio de aceites de la empresa Conauto. Esta empresa es la proveedora de distintos productos usados en la maquinaria y como parte de los agregados de postventa industrial provee a sus clientes del servicio de análisis de aceite que se realiza en las instalaciones ubicadas en la ciudad de Guayaquil.

4.3.1.1 SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS

Como se ha tratado previamente la definición de los equipos idóneos para la aplicación de AA es particularmente importante para obtener resultados relevantes para el diagnóstico.

Como parte de los procesos puntuales de mantenimiento que se propone implementar en la empresa, encontramos en el punto 4.2.1 de la presente investigación la aplicación de un estudio permanente de criticidad de maquinaria. Los resultados que arroje este análisis en el tiempo, nos permitirán definir los equipos que requieran la aplicación del modelo de diagnóstico.

4.3.1.2 TOMA DE MUESTRAS

Existen consideraciones importantes que el técnico ejecutor deberá tener en cuenta al momento de obtener las muestras que se enviarán al laboratorio a fin de no obtener muestras no representativas que degeneraran en interpretaciones erróneas de resultados.

- Las muestras de aceite deben ser tomadas del aceite en circulación y con el motor en operación.
- Los recipientes deben estar limpios y etiquetados correctamente con nombre y marca del aceite además de la fecha de toma de muestra.
- Se debe contar con una bomba extractora de aceite usado también llamada “vampiro”, que permite una adecuada extracción del aceite.

La frecuencia de muestreo se establece según lo tratado en el capítulo 3 y queda definida en 200 horas de trabajo, con un rango de tolerancia de +/- 20% (40 Horas).

4.3.2 INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE ACEITE

Uno de los principales problemas que se manifiestan en la aplicación de AA es la interpretación de los resultados que nos retornan los laboratorios en forma de informes. Estos informes constan únicamente de los valores de concentraciones y porcentajes que evidenciaron las pruebas de laboratorio para cada parámetro que haya sido solicitado y de un pequeño comentario sobre el estado del aceite, de allí que el técnico no de una utilidad real a esta información y únicamente descarte o avale la calidad del aceite sin dar un verdadero uso a la información presentada.

En el contexto de trabajo de la empresa Coandes, antes de la realización de este trabajo de investigación ya se realizaba el envío de muestras de aceite de motor para el análisis de laboratorio. Pero al recibir la información del análisis la única estrategia de trabajo que era implementada era la verificación del nivel de viscosidad y contaminación por silicio; en función del valor de estos se decidía si se reducía el tiempo entre cambios del filtro de aceite o el refrescamiento con aceite nuevo entre cambios.

En este contexto, se verificó la necesidad de una herramienta que permita la adecuada verificación de los resultados evidenciados en el informe de laboratorio. Así en el segundo punto del modelo se propuso la creación de un software de interpretación de resultados de aceite usado de motor diésel, que basa su funcionamiento en la información y la experiencia recogida de la implementación del análisis de aceite tratado en el capítulo tres de la presente tesis.

4.3.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL PROGRAMA

El software es un programa sencillo que interpreta los datos del informe de laboratorio, comparándolos con su base de datos de valores adecuados y diagnóstico de valores erróneos.

Tratamiento de la maquinaria

El programa permite la creación de bases de datos para distintas máquinas, tantas como equipos requieran un estudio. Cada máquina se ingresará con información propia de la misma y principalmente de su motor.

Tratamiento de los distintos tipos de aceite de motor

El software permite el ingreso de distintas marcas de aceite. Para el ingreso de aceite se requerirá el nombre del aceite y sus límites condenatorios propios tanto para viscosidad y TBN. Hay que tener en cuenta que se requiere el ingreso de estos límites críticos provistos por el fabricante ya que basándonos en el estudio realizado en los puntos 3.3.3.1 y 3.3.3.2, estos dos parámetros dependen en gran parte de la formulación del aceite razón por la cual los máximos y mínimos establecidos por los

fabricantes deben respetarse ya que es dentro de este rango donde se comprueba una adecuada efectividad.

Siendo un programa diseñado específicamente para su aplicación por parte del departamento de mantenimiento de COANDES, el aceite URSA PREMIUM TDX SAE 15W40 de uso global en los equipos diésel, viene cargado por defecto en las opciones de aceites al instalar este programa.

Comparación de datos de muestras y límites condenatorios

Los límites condenatorios para el resto de parámetros de salud (exceptuando viscosidad y TBN), contaminación y desgaste que se cargaron en la memoria interna del programa y se usan por defecto, se definieron en base a el estudio realizado en el punto 3.3.3 donde se encontró el límite crítico para cada uno de ellos en base a una comparación de fuentes.

Los valores críticos usados para el estudio desarrollado en el capítulo precedente, se establecieron para un análisis proactivo del mantenimiento y por esta razón se extendieron para el uso en el software.

Tabla 4. 6 Límites críticos manejados por el software. FUENTE: Autor

PARÁMETRO		LÍMITE CRÍTICO
Oxidación (%)	Max	15.68
Nitración (%)	Max	13.01
Sulfatación (%)	Max	12.04
Silicio (ppm)	Max	20
Agua (>0.2%)		Negativo
Hierro (ppm)	Max	100
Cobre (ppm)	Max	30
Plomo (ppm)	Max	30
Cromo (ppm)	Max	10
Estaño (ppm)	Max	20
Níquel (ppm)	Max	10
Aluminio (ppm)	Max	20

Diagnósticos

Los diagnósticos que el software presenta están basados en la técnica SACODE que provee información de comportamiento y evaluación de parámetros de salud, contaminación y desgaste. Esta información se encuentra en los puntos 3.2.5, 3.2.6 y 3.2.7 de la presente tesis respectivamente.

4.3.2.2 DESARROLLO DEL SOFTWARE

El desarrollo del software tuvo como base la utilización de Visual Basic 2010 y Access 2013. Visual Basic es un sistema de programación por computadora cuyo propietario es Microsoft y sus bases recaen en el lenguaje de programación llamado BASIC. Esta interfaz de desarrollo fue creada con el fin de que se pueda realizar el desarrollo de aplicaciones de manera rápida y eficiente, esto se debe a que un programador puede crear su aplicación a partir de componentes gráficos que son provistos en el entorno de programación, estos elementos pueden ser cuadros de texto, botones, listas despegables. A partir de las acciones correspondientes a cada elemento gráfico se puede empezar a escribir el código necesario para que la aplicación funcione de la manera deseada.

La segunda herramienta usada es Access 2013, también llamada Microsoft Access 2013, la cual es un sistema de gestión de base de datos igualmente propiedad de Microsoft y que consta de una interfaz gráfica amigable para el usuario común. Access 2013 es miembro del conjunto de aplicaciones ofrecidas por Microsoft Office y es capaz de almacenar datos o información en su propio formato de base de datos, esta información puede ser obtenida o modificada mediante otro tipo de aplicaciones tales como Visual Basic 2010.

Se eligió a Access 2013 como herramienta para el almacenamiento de información permanente de la aplicación ya que permite estructurar los datos mediante tablas con sus respectivos campos. Estas tablas pueden relacionarse entre sí mediante claves primarias y secundarias por lo que el resultado final es una fuente de información sólidamente estructurada a partir de la cual se pueden recuperar y modificar distintos datos con facilidad, disminuyendo las dificultades y errores propios de la programación de la aplicación con las características requeridas.

Como primer paso se realizó el diseño de la aplicación mediante los elementos gráficos provistos por Visual Basic con el fin de poder ingresar y eliminar tanto maquinas como aceites, al igual que para la ejecución de varios diagnósticos y para recuperar cualquiera de estos según la fecha de realización. Posterior a esto, se relacionó al programa con una base de datos creada en Access con el fin de poder sustentar la comunicación entre el programa y la base de datos y viceversa. Esto es necesario ya que el programa requiere la modificación de la base de datos así como la recuperación de la información de la misma.

La base de datos está conformada por cuatro tablas cada una con sus respectivos campos (parámetros) en las cuales se almacena distinta información sobre cada aceite y maquina ingresada tales como su nombre, código y parámetros propios de cada elemento. Las dos tablas restantes relacionan las magnitudes proporcionadas para cada análisis para cada máquina así como su respectivo diagnóstico en comparación con los límites críticos previamente definidos para cada aceite.

La base del programa es la comunicación de la interfaz gráfica desarrollada con la memoria de la computadora en la cual se encuentra la información y la cual se presenta a través de la base de datos, de esta forma se logra solucionar el problema de que la información no pueda ser recuperada cuando termine la ejecución del programa sino que estará disponible cada vez que se corra la aplicación.

El programa permite su instalación en equipos de 32 y 64 bits, y no requiere de la preinstalación en el ordenador, de Access ni Visual Basic ya que posee su propia herramienta de poder de tanto para bases de datos access y código visual basic. En el ANEXO C1 se presenta la guía de instalación.

4.3.2.3 GUÍA DE USO DEL PROGRAMA

Instalado correctamente el programa, se inicializa y presenta la ventana principal que nos muestra las 4 funciones principales.

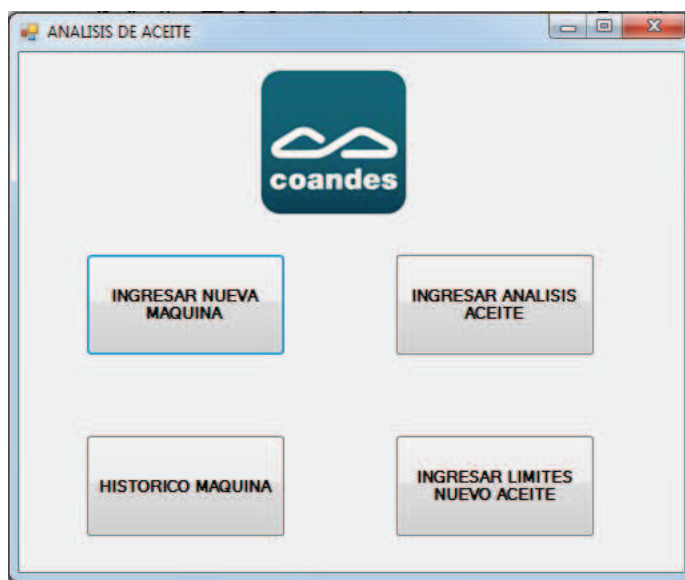


Figura 4. 10 Ventana Principal programa análisis de Aceite.
FUENTE: Software de análisis de aceite COANDES.

4.3.2.3.1 INGRESAR MAQUINA NUEVA

Este programa está diseñado para analizar un número ilimitado de máquinas con un número ilimitado de muestras, el primer paso que se debe hacer es ingresar o crear una base de datos para la maquina nueva a ser estudiada. Esto se lo realiza ingresando en el botón *ingresar nueva máquina* que nos arroja una ventana como se muestra a continuación.

The screenshot shows a window titled 'INGRESO MAQUINA'. Inside, there's a 'Ficha Tecnica' section with the COANDES logo. The form includes fields for 'MAQUINA:', 'MARCA:', 'MODELO:', 'CATEGORIA:' (a dropdown), and 'CODIGO:'. Below these is a 'MOTOR' section with fields for 'MARCA:', 'NUMERO DE CILINDROS:', 'POTENCIA NOMINAL:', 'CAPACIDAD DEL ACEITE DE MOTOR:', and 'FILTRO:'. To the right of the motor fields are units: 'HP' and 'Gal (L)'. At the bottom are two buttons: 'INGRESAR' and 'ELIMINAR' with a star icon.

Figura 4. 11 Ventana para ingresar los datos de las maquinas a ser analizadas.
FUENTE: Software de análisis de aceite COANDES

Como se observa, se tiene una ficha técnica en la cual se puede ingresar todos los datos correspondientes a la máquina que va a ser objeto del análisis: nombre, marca, modelo, categoría que corresponde a la maquina entre las dos categorías disponibles que maneja COANDES y el código respectivo.

También existe un campo para ingresar los datos correspondientes al motor, que es el elemento del cual se analiza la información de fallas mediante el análisis de aceite. Por ende para este se solicitan las características más importantes.

Una vez llenados todos estos puntos procedemos a clicar en el botón ingresar y los datos se guardaran automáticamente. En caso de que se requiera eliminar los datos de alguna de estas máquinas se lo puede hacer mediante el botón *eliminar*, que abrirá una ventana donde se puede borrar la información de la maquina buscándola tanto por código, como por nombre.

The screenshot shows a window titled 'Form6'. It contains the COANDES logo and two dropdown menus labeled 'CODIGO:' and 'MAQUINA:'. To the right of these dropdowns is a button labeled 'ELIMINAR'.

Figura 4. 12. Ventana de eliminación de datos de la maquinaria.
FUENTE: Software de análisis de aceite COANDES

4.3.2.3.2 INGRESO LIMITES NUEVO ACEITE

INGRESO ACEITE

coandes

ACEITE:

SALUD

PARAMETRO	UNIDAD	MAXIMO	MINIMO
VISCOSIDAD	Cet 100°		
TBN	mg KOH/g		
OXIDACION	-	5.68	-
SULFATACION	-	13.1	-
NITRACION	-	12.4	-

CONTAMINACION

PARAMETRO	UNIDAD	MAXIMO	MINIMO
AGUA	-	negativo	-
SILICIO (SI)	ppm	20	-

CONTAMINACION

PARAMETRO	UNIDAD	MAXIMO	MINIMO
HIERRO (FE)	ppm	100	-
COBRE (CU)	ppm	30	-
PLOMO (PB)	ppm	30	-
ALUMINIO (AL)	ppm	20	-
CROMO (CR)	ppm	10	-
ESTANO (SI)	ppm	20	-
NIQUEL (NI)	ppm	10	-

INGRESAR

ELIMINAR *

Figura 4. 13 Ventana para el ingreso de datos del aceite a utilizar
FUENTE: Software de análisis de aceite COANDES

En esta ventana creamos los distintos tipos de aceite con los que se desee trabajar. El aceite URSA PREMIUM TDX 15W40 viene precargado por defecto y no necesita ser creado.

El programa permite ingresar un número ilimitado de aceites según la necesidad. El primer parámetro va a ser el nombre del aceite que se va a ingresar, los datos que tenemos que ingresar en esta ventana son los correspondientes a los límites de Viscosidad y TBN que vienen dados por el fabricante del aceite que estamos editando. El resto de límites críticos ya se encuentran establecidos por defecto, ya que son valores de contaminación y desgaste definidos en la investigación a fin de que permitan un correcto análisis en función de los requerimientos de la compañía y además permiten el análisis desde un enfoque proactivo. Estos límites críticos almacenados por defecto se pueden extender a cualquier tipo de aceite. Esta ventana también consta con una opción para eliminar los distintos aceites que se haya almacenado en el programa.

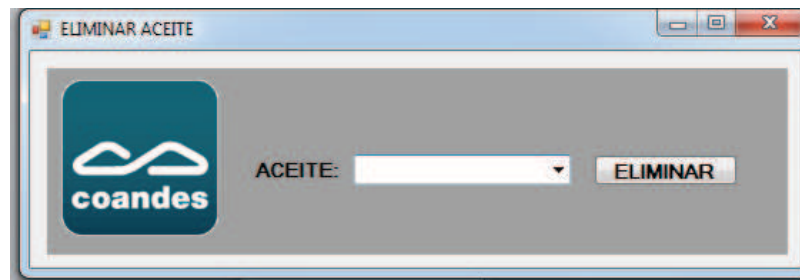


Figura 4. 14 Ventana para eliminar los datos de Aceite.
FUENTE: Software de análisis de aceite COANDES

4.3.2.3.3 INGRESAR ANÁLISIS DE ACEITE

En esta función es donde se alimenta al programa con los datos resultantes de los análisis del aceite que nos envía el laboratorio para cada muestra, debemos ingresar cada parámetro de Salud, Contaminación y Desgaste.

MAQUINARIA Y ACEITE

CODIGO:
 MAQUINA:
 ACEITE: **BUSCAR I**

MAQUINA: CATEGORIA:
 MARCA: CODIGO:
 MODELO:

MOTOR
 MARCA:
 NUMERO DE CILINDROS:
 POTENCIA NOMINAL: HP
 CAPACIDAD DEL ACEITE DE MOTOR: Gal (L)
 FILTRO:

ACEITE
 MARCA:
ANALISIS
 FECHA DE OBTENCION:
 FECHA DE ANALISIS: 01/03/2015 14:12:53
 HOROMETRO: 0

PARAMETROS Y ANALISIS

SALUD

PARAMETRO	UNIDAD	VALOR	ANALISIS
VISCOSIDAD	Cat 100*	0	
TBN	mg KOH /g	0	
OXIDACION	-	0	
SULFATACION	-	0	
NITRACION	-	0	

CONTAMINACION

PARAMETRO	UNIDAD	VALOR	ANALISIS
AGUA	-	0	
SILICIO (SI)	ppm	0	

DESGASTE

PARAMETRO	UNIDAD	VALOR	ANALISIS
HIERRO (FE)	ppm	0	
COBRE (CU)	ppm	0	
PLOMO (PB)	ppm	0	
ALUMINIO (AL)	ppm	0	
CROMO (CR)	ppm	0	
ESTANO (SN)	ppm	0	
NIQUEL (NI)	ppm	0	

ANALIZAR I **DETALLE** **IMPRIMIR I** **NUEVO I**

Figura 4. 15 Ventana para el ingreso de datos para el análisis.
FUENTE: Software de análisis de aceite COANDES

La ventana consta de dos partes, la primera son los datos de la maquinaria y aceite, la segunda son los parámetros de análisis de las muestras. En la sección de maquinaria y aceite simplemente se busca la maquina a la cual queremos ingresar los datos del análisis, máquinas que ya están guardadas en el sistema por los pasos realizados anteriormente. También se busca el tipo de aceite con el que se está trabajando.

Automáticamente se nos cargaran los datos del motor y del aceite. Una vez seleccionados estos datos procedemos a llenar los campos de fecha de obtención del aceite y del horòmetro correspondiente al momento de toma de la muestra. La fecha de análisis se tomara por defecto en la fecha en la que se ejecute el programa y será la fecha con la que se almacene la interpretación de resultados en el histórico.

ANALISIS

MAQUINARIA Y ACEITE

CODIGO:

MAQUINA:

ACEITE:

BUSCAR

MAQUINA: COMPRESOR **CATEGORIA:** EQUIPO MAYOR

MARCA: DOOSAN / INGERSOLL RAND **CODIGO:** 134

MODELO: XP375WCU

MOTOR

MARCA: CUMMINS

NUMERO DE CILINDROS: 4

POTENCIA NOMINAL: 125 HP

CAPACIDAD DEL ACEITE DE MOTOR: 2.5 (9.5) Gal (L)

FILTRO:

ACEITE

MARCA: URSA PREMIUN TDX 15W40

ANALISIS

FECHA DE OBTENCION: 25/08/2014

FECHA DE ANALISIS: 01/03/2015 14:12:53

HOROMETRO: 3719

Figura 4. 16 Ventana de búsqueda de máquina y aceite.
FUENTE: Software de análisis de aceite COANDES

Una vez realizado este ingreso de datos de máquina y aceite, se procede a trabajar en la segunda parte que son los parámetros de salud, contaminación y desgaste. En esta parte se va a introducir todos los datos correspondientes que tenemos en el informe de laboratorio.

PARAMETROS Y ANALISIS			
SALUD			
PARAMETRO	UNIDAD	VALOR	ANALISIS
VISCOSIDAD	Cst 100°	15,21	
TBN	mg KOH /g	8,64	
OXIDACION	-	0	
SULFATACION	-	0	
NITRACION	-	0	

CONTAMINACION			
PARAMETRO	UNIDAD	VALOR	ANALISIS
AGUA	-	NEGATI	
SILICIO (SI)	ppm	16	

DESGASTE			
PARAMETRO	UNIDAD	VALOR	ANALISIS
HIERRO (FE)	ppm	32	
COBRE (CU)	ppm	3	
PLOMO (PB)	ppm	1	
ALUMINIO (AL)	ppm	5	
CROMO (CR)	ppm	9	
ESTANO (SN)	ppm	0	
NIQUEL (NI)	ppm	0	

ANALIZAR | DETALLE | IMPRIMIR | NUEVO

Figura 4. 17 Ventana de ingreso de datos de Salud, Contaminación y Desgaste.
FUENTE: Software de análisis de aceite COANDES

Al tener ya ingresados todos los datos, se procede a dar clic en *analizar* para que el programa compute los datos y nos devuelva la información sobre si estos valores son aceptables dentro de los límites críticos. Los valores correctos van a estar marcados con verde, mientras que los datos fuera del límite se presentan con color rojo.

PARAMETROS Y ANALISIS			
SALUD			
PARAMETRO	UNIDAD	VALOR	ANALISIS
VISCOSIDAD	Cst 100°	15,21	VALOR NO ACEPTABLE
TBN	mg KOH /g	8,64	VALOR NO ACEPTABLE
OXIDACION	-	0	VALOR ACEPTABLE
SULFATACION	-	0	VALOR ACEPTABLE
NITRACION	-	0	VALOR ACEPTABLE

CONTAMINACION			
PARAMETRO	UNIDAD	VALOR	ANALISIS
AGUA	-	NEGATI	VALOR ACEPTABLE
SILICIO (SI)	ppm	16	VALOR ACEPTABLE

DESGASTE			
PARAMETRO	UNIDAD	VALOR	ANALISIS
HIERRO (FE)	ppm	32	VALOR ACEPTABLE
COBRE (CU)	ppm	3	VALOR ACEPTABLE
PLOMO (PB)	ppm	1	VALOR ACEPTABLE
ALUMINIO (AL)	ppm	5	VALOR ACEPTABLE
CROMO (CR)	ppm	9	VALOR ACEPTABLE
ESTANO (SN)	ppm	0	VALOR ACEPTABLE
NIQUEL (NI)	ppm	0	VALOR ACEPTABLE

ANALIZAR | DETALLE | IMPRIMIR | NUEVO

Figura 4. 18 Resultado del análisis de los datos ingresados.
FUENTE: Software de análisis de aceite COANDES

Una vez establecidos los valores, procedemos a solicitar la interpretación de los mismos mediante el software. Seleccionando el botón *analizar* aparecerá una ventana que nos mostrara la información interpretada para cada parámetro; si el valor es normal aparecerá un texto “valor aceptable”. En caso de presentarse un valor fuera de limite se nos presentara información de causas que originan este pivote, efectos que se producen en el aceite debido al mismo y las acciones que se deberían llevar a cabo para contrarrestar esta tendencia. Con esta información se debe acudir al manual de diagnóstico de fallas.

SALUD		DESGASTE	
PARAMETRO	ANALISIS	PARAMETRO	ANALISIS
VISCOSIDAD	Baja Viscosidad: EFFECTO: Provoca desgaste de cilindro y cojinetes. CAUSAS: 1.Dilución con aceite menos viscoso 2.Contaminación por combustible. ACCIONES: 1.Revisar relleno con aceites menos viscosos 2.Revisión de inyectores, revisión funcionamiento del termostato, regule del régimen de ralentí.	HIERRO (FE)	VALOR ACEPTABLE
TBN	EFFECTO: Corrosión, Formación de depósitos en el motor. Reducción de vida útil del motor. CAUSAS: Incremento de la acidez del aceite por reducción de la reserva alcalina. ACCIONES: Revisar posible sobrecalentamiento del motor. Revisar calidad del combustible (contenido alto de azufre). Revisar estado de bomba de transferencia.	COBRE (CU)	VALOR ACEPTABLE
OXIDACION	VALOR ACEPTABLE	PLOMO (PB)	VALOR ACEPTABLE
SULFATACION	VALOR ACEPTABLE	ALUMINIO (AL)	VALOR ACEPTABLE
NITRACION	VALOR ACEPTABLE	CROMO (CR)	VALOR ACEPTABLE
		ESTANO (SN)	VALOR ACEPTABLE
		NIQUEL (NI)	VALOR ACEPTABLE
		IMPRIMIR	

Figura 4. 19 Ventana de detalles de los resultados de los análisis.
FUENTE: Software de análisis de aceite COANDES

Dentro de esta ventana se tiene la opción *imprimir* para este reporte y la opción *nuevo* que permitirá realizar la carga de datos de un nuevo análisis de aceite.

4.3.2.3.4 HISTÓRICO MAQUINA

Volviendo a la ventana principal del programa se tiene la opción *Histórico Maquina*, la cual permite al usuario revisar el historial de análisis de aceite que se hayan ingresado para las diferentes maquinas. En ellos encontraremos toda la información que obtuvimos anteriormente, las características de las maquinas, los valores de los parámetros y la interpretación de los mismos. La máquina requerida se busca

mediante el nombre o el código cargado, y el análisis se identifica según la fecha y hora en la que fue creado.

MAQUINARIA Y ACEITE

CODIGO:
 MAQUINA: COMPRESOR
 FECHA: 24/02/2015 13:00:00 PM

MAQUINA: COMPRESOR CATEGORIA: EQUIPO MAYOR
 MARCA: DOOSAN / INGERSOLL RAND CODIGO: 134
 MODELO: XP375WCU

MOTOR

MARCA: - CUMMINS
 NUMERO DE CILINDROS: - 4
 POTENCIA NOMINAL: HP 125
 CAPACIDAD DEL ACEITE DE MOTOR: Gal (L) 2.5 (9.5)
 FILTRO: -

ACEITE

MARCA: - URSA PREMIUN TDX 15W40

ANALISIS

FECHA DE OBTENCION: 15/10/2014
 FECHA DE ANALISIS: 24/02/2015 13:00:00 PM
 HOROMETRO: 3892

PARAMETROS Y ANALISIS

SALUD

PARAMETRO	UNIDAD	VALOR	ANALISIS
VISCOSIDAD	Cst 100°	33.41	VALOR NO ACEPTABLE
TBN	mg KOH /g	5.43	VALOR ACEPTABLE
OXIDACION	-	12.06	VALOR NO ACEPTABLE
SULFATACION	-	46.75	VALOR NO ACEPTABLE
NITRACION	-	0.119	VALOR ACEPTABLE

CONTAMINACION

PARAMETRO	UNIDAD	VALOR	ANALISIS
AGUA	-	NEGATIVO	VALOR ACEPTABLE
SILICIO (SI)	ppm	12	VALOR ACEPTABLE

DESGASTE

PARAMETRO	UNIDAD	VALOR	ANALISIS
HIERRO (FE)	ppm	62	VALOR ACEPTABLE
COBRE (CU)	ppm	6	VALOR ACEPTABLE
PLOMO (PB)	ppm	3	VALOR ACEPTABLE
ALUMINIO (AL)	ppm	10	VALOR ACEPTABLE
CROMO (CR)	ppm	17	VALOR NO ACEPTABLE
ESTANO (SN)	ppm	0	VALOR ACEPTABLE
NIQUEL (NI)	ppm	1	VALOR ACEPTABLE

Figura 4. 20 Ventana de la opción Histórico de Maquina.
FUENTE: Software de análisis de aceite COANDES

Dentro de esta ventana también se encuentra la opción de detalles para poder revisar la interpretación correspondiente a los valores de los parámetros. Y por supuesto se cuenta con la opción de imprimir nuevamente los resultados.

En la Figura 4.21 tenemos un ejemplo del informe final de diagnóstico que arroja el programa para una muestra de aceite.

Figura 4. 21. Ventana de detalles del historial de las máquinas.
FUENTE: Software de análisis de aceite COANDES

4.3.3 DIAGNÓSTICO DE FALLAS

El tercer punto del modelo de diagnóstico de fallas, comprende establecer la relación entre los resultados interpretados por el software con la descripción de fallos generales que se producen en los motores.

La creación de un manual de diagnóstico es una forma adecuada de relacionar a los equipos con los resultados de las muestras de aceite. En este manual considerara de manera general los problemas más comunes que se pueden presentar en un motor diésel y su relación con el desempeño del aceite lubricante.

El manual de diagnóstico que se presentara a continuación, será presentado a el personal de COANDES en forma de archivo PDF, de esta manera podrá ser consultado fácilmente cuando se requiera información.

4.3.3.1 MANUAL DIGITAL DE DIAGNOSTICO DE FALLAS DE MOTORES DIÉSEL

4.3.3.1.1 DIAGNOSTICO DE PROBLEMAS EN EL BLOQUE MOTOR

PISTONES [18]

Tomando en cuenta las condiciones de trabajo del pistón si las condiciones de fabricación no son óptimas, producirán fallas no solo en este elemento sino también en otros que están relacionados como los anillos y las camisas. Las fallas principales de los pistones son:

Por sobrecalentamiento

Esta falla se da sobre todo por la deficiente extracción de calor, el cual causa la dilatación tanto en la camisa como en el pistón. Esta falla del sistema camisa-pistón aparece porque la camisa posee materiales diferentes a los materiales del pistón, por lo que sus dilataciones a la misma temperatura también van a ser diferentes. Por lo general este problema altera la forma de los elementos, ocasionando por ende deformaciones, inclusive llaga a la fundición del elemento o que el pistón se comprima en la camisa.



Figura 4. 22 Deformaciones del pistón a causa de las altas temperaturas.
FUENTE: www.itacr.com/analisis_averias.html

Lubricación Inapropiada

Es llamada también lubricación marginal, que es la falta o ausencia de la lubricación hidrodinámica que se necesita para los elementos en movimiento. Esta ausencia es la que ocasiona las ralladuras, que si no son tratadas y controladas a tiempo generaran raspaduras y falla del elemento.



Figura 4. 23 Rayado del pistón por falta de lubricación.

FUENTE: www.itacr.com/analisis_averias.html

Contaminantes Abrasivos

Estos elementos aparecen por efecto de las ralladuras o raspaduras a las que están expuestas las camisas por acción de los anillos. Se lo conoce como contaminantes abrasivos, porque las partículas sólidas abrasivas se sitúan sobre el pistón.

ANILLOS [18]

Anillos del Pistón

Los anillos suelen presentar problemas y hasta desgaste y/o fractura ya sea en funcionamiento o montaje:

Desgaste por Abrasivo

Comúnmente las fallas que presentan los anillos, principalmente los anillos de compresión está dado por el abrasivo, tierra y polvo, que ingresa del ambiente. Al darse este proceso de abrasivos en las caras del anillo, no solo que se pierde por completo la cubierta de cromo, sino que hay casos en los que se da el aumento en la abertura del aro. Por lo general, los anillos más cercanos a la cabeza del pistón son los que con más facilidad se desgastan, y como las superficies están estriadas, existe un mayor desprendimiento de partículas hacia las camisas.

Desgaste Por Ralladura

Es fácil evidenciar las raspaduras en los anillos ya que la superficie en contacto con las camisas muestran problemas de deformación estructural debido a las altas temperaturas que obtienen al no existir el juego, y por consiguiente faltar la lubricación. Si se sigue operando al equipo, las ralladuras se transformaran en raspaduras, con un completo desgaste de las paredes de los anillos.

Dentro de las principales causas que pueden originar este desgaste están:

- Sobre calentamiento del motor
- Lubricación marginal

- Holgura insuficiente
- Acabado inapropiado del cilindro
- Rodaje inicial inapropiado
- Oxidación del aceite.
- Ingreso de sustancias abrasivas provenientes del ambiente, especialmente polvo.

Anillos quemados

Al ocurrir esta falla los anillos se presentan como quemados, esto debido a los depósitos de carbón que experimentan. Estos depósitos de carbón limitan el libre movimiento de los anillos, provocando que estos fallen en su función de sellado de la cámara de combustión entre la camisa y el pistón.



Figura 4. 24 Anillos quemados debido a depósitos de carbón.
FUENTE: www.widman.biz/boletines/121.html

Rotura de anillos

Al hablar de rotura de los anillos se hace imprescindible identificar si esta rotura sucedió al momento de montar los mismos, o en funcionamiento del motor. Si la falla ocurrió en funcionamiento, se presentarían depósitos en la mayoría de su cara, y las secciones donde han fallado los anillos mostrarían un martilleo entre ellas, debido a las vibraciones. Como mayor consecuencia se tendrá el daño permanente del pistón.



Figura 4. 25 Rotura de anillo en el funcionamiento del motor.
FUENTE: www.widman.biz/Seleccion/viscosidad.html

BULONES [18]

Suele ocurrir que el seguro del bulón o pasador de biela no esté bien montado en el pistón, y debido al movimiento oscilante del pistón el material del retén entrará en contacto con la camisa, desgastándose gradualmente hasta romperse.

La falla del equipo sucederá porque los pedazos del anillo oscilaran dentro del agujero del pasador, provocando el desprendimiento de partículas de aluminio. Estas partículas pueden ser abrasivas tanto para el pasador como para el pistón y hasta las camisas.

CAMISAS [18]

Los problemas que con más frecuencia presentan las camisas son:

Rallado o Raspado de la superficie interior de las camisas

Este proceso de desgaste sucede de forma simultánea entre los anillos del pistón y las camisas, así que el desgaste de los anillos resulta en desgaste de las camisas.

Rotura de la brida o asiento de las camisas

La falla de este elemento se da por un exceso de presión sea en el montaje de la camisa en su cilindro o, por un mal montaje de la culata sobre el bloque. También hay que tomar en cuenta el desgaste al que está expuesta la brida cuando esta no se encuentra totalmente paralela con su asiento, y el pistón al tener movimiento angular, lo puede transmitir a la camisa.

Erosión por cavitación

Por lo general son causadas debido al contacto entre la camisa y el refrigerante. Este problema se presenta sobre la parte exterior de la camisa. Son pocas las veces que se presenta este tipo de problemas si se da un adecuado mantenimiento al sistema refrigerante del motor.



Figura 4. 26 Erosión de la camisa por cavitación.
FUENTE: www.itacr.com/boletin-FEL-PRO.html

BIELA [18]

La biela en cuanto a su diseño es el elemento del motor que está sometido a mayores esfuerzos y sobre a tracción. En cuanto a las fallas que se presentan en este elemento se tiene:

Falla de la biela por su propia fractura

Esta está presente en más del cincuenta por ciento de casos de falla del elemento. Como se muestra este índice es bastante elevado ya que por diseño la biela no se desgastara fácilmente, pero al estar sometido a grandes esfuerzos, estos mismos esfuerzos podrán ocasionar la falla, sobre todo cuando existan concentradores de esfuerzos en la biela.



Figura 4. 27 Falla de la biela por su propia fractura.

FUENTE: datoscatpillar.blogspot.com/2012/11/analisis-de-falla-de-bielas-parte-2.

Falla en los cojinetes de biela

Dentro del montaje de las bielas con el cigüeñal siempre habrá de colocarse los cojinetes, para evitar el desgaste del muñón del cigüeñal y de los asientos de la biela. Por esto las fallas por fracturas no pueden ser determinadas con facilidad a través del análisis de aceite. Con lo correspondiente a los cojinetes, estos si pueden ser estudiados y sus fallas predichas ya que dichos elementos tienen un diseño que favorece al desgaste, y sus elementos constitutivos son muchas veces sino únicos en el motor, si muy fáciles de ser asociados.

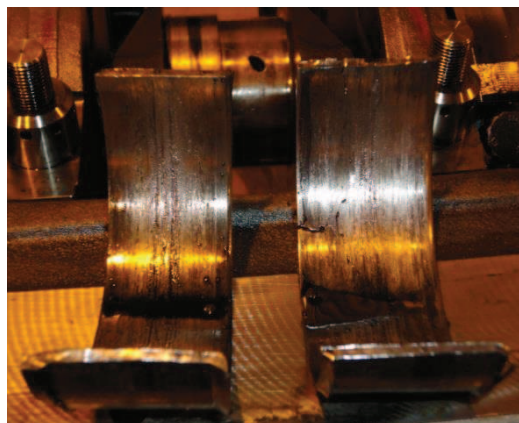


Figura 4. 28. Falla en los cojinetes de biela por desgaste.

FUENTE: www.livingreliability.com/en/wp-content/uploads/2011/06/DSC05034.jpg

Biela doblada o torcida.

Al momento de presentarse este tipo de problemas con las bielas, se necesita tomar en cuenta este problema por sus vínculos en todo el motor. Sin embargo, para los cojinetes este tipo de dificultad se denota por el desgaste en un extremo del cojinete, haciendo que solamente esa zona reducida presente ese desgaste debido al contacto de metal contra metal entre el cojinete y el muñón. El desgaste afecta a ambas tapas del cojinete, por su puesto en los extremos opuestos.



Figura 4. 29 Biela doblada por fuerzas externas.

FUENTE: datoscaterpillar.blogspot.com/2012/11/analisis-de-falla-de-bielas-parte-1

COJINETES DE BIELA [18]

Al tratar los defectos en los cojinetes es necesario indicar que la o las fallas del cojinete nos son fácilmente detectables o aisladas, y en la mayoría de los casos estas están relacionadas entre sí. Este elemento puede fallar por situaciones relacionadas a su funcionamiento, así como por fallas en otros sistemas de los que dependen, pero principalmente por fallas en el sistema de lubricación.

Desgaste normal

No se la considera como falla en tal, se tiene que cuidar el tiempo de vida útil óptimo para este elemento. Como se conoce, los cojinetes fueron diseñados y fabricados para desgastarse, y al tener una estructura que no es solamente hecha con el recubrimiento de desgaste, sino que posee una capa interna de metal que no debería desgastarse nunca y peor aún llegar al aceite, puesto que estas partículas serán altamente abrasivas.



Figura 4. 30 Desgaste normal del cojinete.

FUENTE: www.widman.biz/Analisis/desgaste.html

Fatiga de la superficie

Este inconveniente surge como fractura en la capa de recubrimiento del cojinete, provocada por cargas radiales que paulatinamente producen fisuras en dicha capa y que terminan por desprender secciones de recubrimiento.

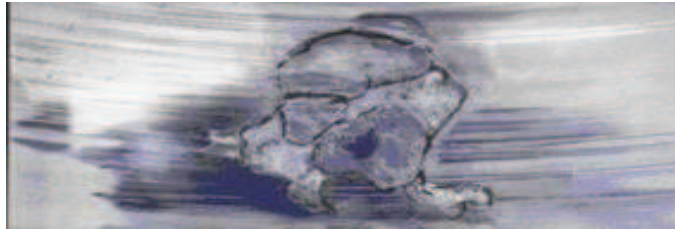


Figura 4. 31 Fisuras en la capa de recubrimiento del cojinete

FUENTE: www.itacr.com/cojinetes.html

Partículas extrañas en el revestimiento

Este problema se aprecia de una fácil manera por marcas de raspaduras en la superficie del cojinete, y en otros casos también se pueden observar elementos incrustados. Se diría que la falla se produce por la incrustación de elementos externos en la capa de material blando, creando puntos altos que entrarán en contacto con el eje, provocando un rozamiento y posteriormente el desgaste, llamado también efecto de piedra de esmeril.



Figura 4. 32 Raspaduras en la superficie del cojinete a causa de elementos incrustados.

FUENTE: datoscatapultar.blogspot.com/2013/01/inspeccion-de-cojinetes-de-biela-y-de.html

Falta de aceite

Al existir falta de lubricación entre el eje y el cojinete consigue como consecuencia la falla del cojinete por quemadura; es decir, el revestimiento se desgasta completamente, apareciendo la superficie brillante, y algunas veces el cojinete se deforma por acción del calor. Así que, los dos principales problemas que trae la no presencia de una adecuada lubricación son la fatiga del cojinete y el rozamiento metal-metal con su posterior calentamiento.

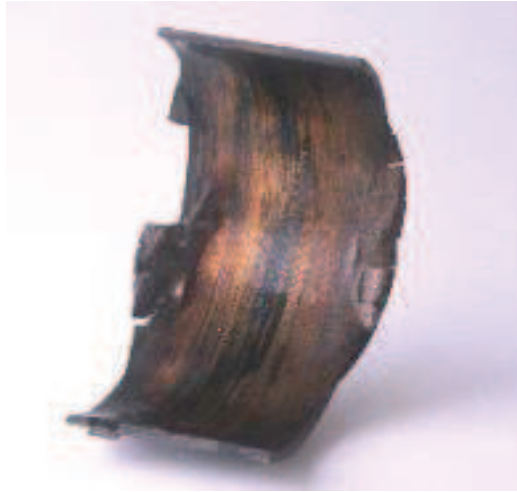


Figura 4. 33 Falla del cojinete por quemadura por falta de lubricación.
FUENTE: datoscatpillar.blogspot.com/2012/11/causas-de-fallos-en-los-cojinetes

Corrosión

La corrosión aparece cuando algunos elementos del lubricante reaccionan químicamente con los elementos del recubrimiento del cojinete. Las consecuencias de esta reacción química se denotan como la eliminación de las capas del cojinete, o en la mayoría de los casos la formación de una capa de óxidos quebradizos sobre la superficie del cojinete, que después por fatiga del material concluyen con el desprendimiento de parte del revestimiento.

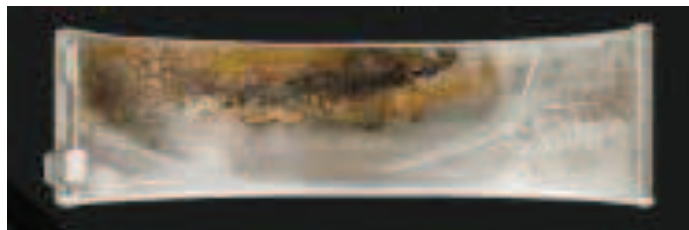


Figura 4. 34 Corrosión en las capas del cojinete.
FUENTE: www.itacr.com/img/cojinetes_motor_img04.jpg

CIGÜEÑAL [18]

Como se puede deducir el cigüeñal no presenta un diseño complejo en cuanto al aspecto físico, mas no así con su diseño mecánico. No será indispensable mencionar los esfuerzos dentro del diseño mecánico que soportara en funcionamiento, sino más bien problemas que se pueden presentar luego de periodos extendidos de funcionamiento o de una reparación. Lo anterior es mencionado ya que las fallas más comunes de estos elementos se dan por fallas de fatigas, claro que en estos casos la fatiga no es la causa sino la consecuencia.

Cigüeñal doblado

Al observar un patrón de desgaste similar la mayoría de veces se debe analizar las condiciones del cigüeñal. Cuando el cigüeñal se halla deformado produce cargas excesivas sobre los cojinetes de bancada, siendo el resultado final el desgaste del cojinete, y la disminución de los canales de lubricación.

Mancha caliente

La situación de corto caliente es producida por un incremento excesivo de calor en algunas áreas del cojinete, dejando al espaldar de acero del cojinete expuesto al ambiente y sin sus capas de recubrimiento. El calor excesivo puede ser debido a flujo insuficiente de aceite, a tierra en el espacio de aceite, eje mal acabado, o cojinete desalineado. Todas estas condiciones adversas se las puede mejorar con una adecuada lubricación.

ÁRBOL DE LEVAS. [18]

Al momento de analizar las posibles fallas que se presentarán en los árboles de levas, se sabe que el desgaste del árbol y de las levas es la falla más habitual. Estas fallas ocurrirán porque el árbol de levas cumple un duro trabajo, en su giro debe empujar todo el tren de válvulas, venciendo no sólo la tensión de los resortes sino también la masa correspondiente de los demás componentes y algunas presiones internas de los cilindros. A más de esto, comanda la bomba de aceite, el distribuidor, la bomba de gasolina y, en algunos motores diésel, sincroniza e impulsa la inyección. . Todo ello va traducido en esfuerzos de torsión y flexión. En pocas ocasiones se considera su real importancia, porque es uno de los elementos del motor que no presenta problemas. Sin embargo su desgaste es inevitable y debe ser cuidadosamente verificado. Al controlar el desgaste de las levas, se debe observar en forma simultánea el grado y tipo de desgaste que presentan, así como se deberá verificar la posible presencia sobre todo en los bordes de picaduras, desprendimientos, entre otras fallas superficiales generalmente.



Figura 4. 35 Desgaste del material del árbol de levas a causa del trabajo que realiza.

FUENTE: www.multirepuestosmack.com/articulo1

En cuanto a los apoyos, estos se habrán de verificar dimensionalmente, ya que una deformación o desgaste mayor de 0.025mm (.001") obligan a su rectificación y a la instalación de nuevos cojinetes, terminados, de la medida correspondiente.

JUNTA O EMPAQUE DE CULATA [19]

Es necesario analizar esta parte ya que, la mayor parte de los motores presentan problemas en esta sección al momento de fallar el material de la junta. La contaminación no solo se da por qué ha fallado el material de la junta, sino que se ha desintegrado y movilizado con el lubricante que recorre esa sección.

A continuación se muestran los principales problemas que se presentan en la junta de la culata y el bloque:

Tabla 4. 7 Problemas presentes en la junta de Culata y Bloque. FUENTE: Autor [19]

PROBLEMA	MOTIVOS DEL FALLO
Daño o rotura del empaque	• Falta de apriete o reapriete. • Planitud incorrecta de culata y/o bloque. • Funcionamiento incorrecto del sistema de refrigeración. • Combustión incorrecta. • Relación de compresión incorrecta
Junta quemada	• Falta de apriete o reapriete • Planitud incorrecta de culata y/o bloque • Funcionamiento incorrecto del sistema de refrigeración • Combustión incorrecta • Relación de compresión incorrecta
Marcas Débiles	• Falta de apriete o reapriete
Desplazamiento y Falta de Material	• Falta de apriete o reapriete • Planitud incorrecta de culata y/o bloque
Deformación del orificio de los tornillos sujetadores de la culata con el bloque	• No utilización de centradores • Incorrecto posicionamiento de la junta • Junta no correcta
Daño y desgaste de los orificios de paso del agua y aceite.	• Alta de apriete o reapriete • Planitud incorrecta de la culata y/o bloque
Rugosidad incorrecta entre el material de la junta y las superficies de la culata y el bloque motor	• Cuidar que la junta multicapa de acero no sea excesivamente diferente en rugosidad a las superficies del bloque motor o la culata.

4.3.3.1.2 DIAGNOSTICO DE PROBLEMAS EN EL SISTEMA DE LUBRICACIÓN.

PRESIÓN DE ACEITE [19]

Lo fundamental en cuanto al control de la presión es saber que una buena lubricación se consigue con una adecuada presión, esto asegura el suficiente flujo de aceite como para mantener lubricado, refrigerado, y limpio el sistema de lubricación.

Indicador de Presión

Gracias a la ayuda del indicador de presión se lograra saber si el motor presenta fallas como consecuencia de desgastes en elementos internos del motor. Se hablan de las fallas por desgaste ya que, al momento de que el motor funciona correctamente y los elementos internos tienen las holguras adecuadas determinadas por el fabricante, la presión de aceite en el motor se mantendrá constante; y bien si llegado el caso de que algún elemento que se encuentra lubricado y que sea de fácil desgaste, como los cojinetes, se llegan a desgastar más allá de los límites permitidos para estos elementos, la holgura será mayor, y por ende se requerirá de una mayor cantidad de aceite para formar la película de lubricación, y con esto la presión en el demás sistema de lubricación habrá de caer.

Problemas comunes asociados a la Presión de Aceite

Se conoce que el sistema de lubricación no es del todo estable, se hay que mencionar que dicho sistema posee dos maneras para demostrar su mal funcionamiento, y dichas formas son lecturas de presión alta y de presión baja en el indicador de presión. Tanto la presión alta como la presión baja tienen sus causas y sus consecuencias.

Presión Alta del circuito de lubricación

No siempre tener una alta presión va a ser bueno, ya que puede ser a causa de que se tiene un aceite demasiado viscoso que esté tapado un conducto, o que simplemente el ralentí del motor es demasiado alto. Por consiguiente, una presión alta hace trabajar el doble a la bomba de aceite, lo que resta potencia y pérdida en el rendimiento del motor. Por esto siempre se debe recordar que una presión alta no significa una buena circulación del aceite dentro del motor.

Tabla 4. 8. Problemas relacionados con la alta presión de aceite. FUENTE: Autor [19]

Avería o defecto	Causas posibles o Síntomas	Acción a tomar
Falta de Aceite	Testigo de presión de aceite no se apaga	Apague el motor y compruebe el nivel de aceite
Posible falla del motor	Bajo nivel de Aceite	Llenar de aceite a nivel y buscar posibles fugas
Bajo nivel del aceite en el cárter del motor	Testigo de presión de aceite se enciende al tomar una curva	Rellene hasta nivel adecuado

Mayor consumo de aceite y desgaste del motor	Viscosidad del aceite reducida por dilución	Cambiar el aceite; si el problema persiste, buscar fugas en el sistema
Ninguna	Cambio de aceite	Ninguna – el aumento y/o disminución de la presión de debe a otros factores

Presión Baja del circuito de lubricación

Comúnmente se suele asociar a la presión baja con desgaste de elementos internos con su respectivo aumento de holguras. Una presión baja también denota que el aceite lubricante está circulando exitosamente por todas las partes donde el motor lo requiera, entendiéndose que aunque el aceite fluye por todo el circuito, su viscosidad no es la apropiada. Esta variación de la viscosidad puede ser consecuencia de diluciones por combustible, problema que afecta de forma directa a la viscosidad del aceite.

Tabla 4. 9. Problemas relacionados con la baja presión de aceite. FUENTE: Autor [19]

Avería o defecto	Causas posibles o Síntomas	Acción a tomar
El aceite fluye adecuadamente dentro de la bomba, pero no lo puede hacer a través de los conductos de lubricación	Arranque en frío por debajo de la temperatura recomendada para ese grado SAE. La presión permanece muy alta luego del arranque en frío por bastante tiempo	Apague el motor. Use un aceite con menor viscosidad a bajas temperaturas, como un multigrado.
Excesivo consumo de aceite. Presión altísima durante el arranque: riesgo de rotura de los filtros y el enfriador de aceite.	Válvula de desviación de la bomba trabada en posición cerrada (por depósitos, etc), o mal ajustada en una reparación.	Destabar, limpiar la válvula de desviación. En los casos que no sean accesibles, vale la pena intentarlo con aceite de alta detergencia.
Falla potencial del motor por caudal insuficiente en cojinetes	Aceite muy viscoso debido al hollín (efecto más crítico en los motores modernos con inyección retardada / control electrónico)	Recambiar el aceite y filtro. Revisar inyectores. Evitar el uso en ralentí por períodos excesivos.
Falla potencial del motor por caudal insuficiente en cojinetes	Aceite muy viscoso debido a oxidación/degradación por recalentamiento	Recambiar aceite y filtro. Usar aceites de calidad superior/ períodos más cortos entre cambios

Disminución de la vida útil del motor por lubricación insuficiente	Selección de un aceite con viscosidad demasiado alta	Consultar manual para usar el grado SAE del aceite recomendado por el fabricante
Reduce la vida del motor (elementos abrasivos en el circuito)	Filtro de aceite tapado. La válvula de desviación permite el paso de aceite sin filtrar	Recambiar el filtro y el aceite. Investigar las causas del taponamiento/bloqueo.
La presión del aceite permanece alta después de la partida en frío	Posible falla grave del motor. Falla potencial del motor	Apagar el motor; cambiar el aceite motor por uno que tenga mejores propiedades a baja temperatura
Aceite demasiado viscoso por causa del hollín, y/o oxidación	Falla potencial del motor	Cambiar el aceite y el filtro; revisar los inyectores; evitar el funcionamiento excesivo en ralentí
Viscosidad del aceite demasiado alta	Duración reducida del motor	Consultar manual del operador o su proveedor de lubricantes para el grado de viscosidad correcto
Aceite demasiado frío	Falla potencial del motor	Revisar termostato del motor; comprobar que la viscosidad del aceite sea el adecuado
Válvula de derivación deja circular el aceite sin pasar por el filtro	Reducida vida del motor	Investigar su posible obstrucción
Obstrucción de la succión de la bomba	Elementos extraños; vida reducida del motor	Parar el motor, investigar causa

CONSUMO DE ACEITE

Al notar que el consumo de aceite es elevado, se debe considerar fallas o averías en sectores muy específicos del motor, en donde siempre se presenta consumo de aceite. Pero también hay que tener cuidado de la composición del aceite lubricante, puesto que este se puede estar degradando a sí mismo. A continuación se enlistarán los problemas más importantes relacionados con el excesivo consumo de aceite.

Tabla 4. 10. Problemas relacionados con el consumo excesivo de aceite. FUENTE: Autor [19]

CAUSAS	
Transitorias	• Nivel de aceite en el cárter por encima del máximo. • Temperatura de funcionamiento del motor muy elevada que calienta el aceite produciéndole excesiva fluidez. • Aceite no adecuado para el motor
Permanentes	• Daños por desgaste en secciones/partes internas del motor. • Mal montaje de secciones/partes del motor luego de un mantenimiento. • Fugas en general. • Partículas suspendidas en el aceite, consecuencia de un exceso de lubricante en el sistema.

De acuerdo a la información de la anterior tabla, se verificará las secciones del motor que se someterán a desgaste y gracias a ello poder relacionar las partículas que se retiraran en futuras muestras de aceite.

En la siguiente tabla se explican los elementos o secciones del motor que deben ser considerados como puntos de consumo excesivo de aceite.

Tabla 4. 11. Elementos del motor considerados como puntos de consumo de aceite. FUENTE: Autor [19]

Elemento	Problema Principal
Juntas/seguros	Estos elementos presentan serios problemas de estanqueidad. Los problemas más comunes están directamente relacionados con sus dimensiones y material de construcción
Desgaste de paredes de elementos en contacto con los retenedores	Se da un desgaste de las paredes por presencia de elementos depositados en las superficies externas de los elementos, causando variaciones en las condiciones normales de funcionamiento (variación del volumen de la cámara de combustión, aumento de dimensiones)
Montaje de elementos sometidos a mantenimiento	Este aspecto es necesario considerarlo, porque muchas veces luego de un mantenimiento, las piezas son inspeccionadas o montadas de manera incorrecta.
Mínima extracción de calor de elementos en contacto	Cuando el lubricante no tiene el contacto adecuado con los elementos móviles, puede causar un calentamiento de los mismos, conllevando a una eventual falla por fatiga o problemas térmicos

Anillos gastados	Cuando la superficie de contacto entre los anillos del pistón y las camisas se ha visto seriamente desgasta, se corre el riesgo que exista contaminación del aceite por parte de los productos de la combustión (gases de escape y el agua), y también el barrido de la capa de lubricación de las camisas será deficiente, provocando que el aceite de dicha capa se queme constantemente
------------------	--

4.3.3.1.3 DIAGNÓSTICO DE PROBLEMAS RELACIONADOS CON LA SOBREALIMENTACIÓN.

Este término de sobrealimentación en los motores se encuentra relacionado con cualquier tipo de elemento que se use para aumentar la cantidad de aire con el cual trabaja el motor de combustión a diésel.

Esta clase de dispositivos van a garantizar un mayor rendimiento en el motor, no obstante presentarán como principal inconveniente el desgaste propio al que se encuentran sometidos dichos equipos externos al motor, pero que trabajan en relación con el mismo, puesto que del motor obtienen la energía suficiente para su funcionamiento, y la lubricación así como la refrigeración del motor también es compartida entre los equipos de sobrealimentación y el motor. Por ello, se analizará a cada uno de estos dos equipos complementarios para el funcionamiento del motor y sus principales fallas relacionadas con la lubricación del motor.

Turbo cargadores o turbo compresores

Las altas temperaturas causadas por los gases de escape y las altas velocidades de giro de estas máquinas son las causas principales de los problemas de los turbocompresores. Una de las medidas de seguridad implementadas para este equipo es válvula limitadora de la velocidad de giro. Esta válvula de diafragma recibe la presión desde el conducto de admisión, por lo que si la velocidad de la turbina aumenta mucho, la presión en el conducto de admisión se hace alta, causando que el diafragma se mueva y que levante una válvula que dirige parte de los gases de escape a la salida sin pasar por la turbina. De esta manera se logran dos cosas; primero se mantiene la presión en el conducto de admisión al valor máximo óptimo y segundo no se permite que la velocidad de giro llegue a valores peligrosos para el turbo-compresor.

Las fallas de los turbo cargadores o turbocompresores caen dentro de las siguientes categorías:

- Falta de aceite
- Aceite contaminado
- Entrada de objetos extraños
- Temperatura de los gases de escape elevada
- Material o mano de obra defectuosa



Figura 4. 36 Desgaste turbocompresor por uso en general.
FUENTE: turbo-tec.com.mx/interiores/analisis.php

4.3.3.2 DIAGNOSTICO DE CAUSAS Y EFECTOS

Una vez que contamos con la información del análisis de aceite y la información del manual de diagnóstico, debemos establecer las causas y el efecto en el motor. Con este fin se emplea una herramienta útil del mantenimiento, el diagrama de Causa-Efecto, su utilidad radica en que el técnico evaluador (Supervisor de Obra) conozca en profundidad no solo la falla si no las causas de la misma.

El diagrama de causa-efecto se realiza atendiendo a los siguientes pasos: [21]

1. Identificar el problema o efecto. (Cabeza)
2. Identificar las principales categorías dentro de las cuales pueden clasificarse las causas del problema. (Espina Principal)
3. Identificar las causas. (Espina)

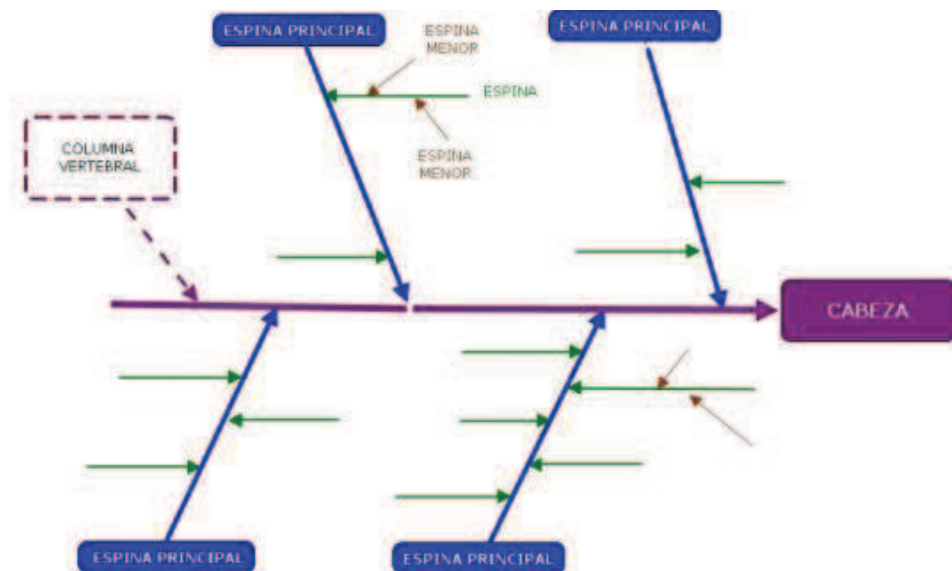


Figura 4. 37 Diagrama de diagnóstico causas y efectos
FUENTE: eduteka.org/DiagramaCausaEfecto.php

4.3.4 APLICACIÓN DEL MODELO

A continuación se presenta un ejemplo tipo, del modelo de análisis planteado. A fin de servir de guía para la realización de diagnósticos posteriores.

4.3.4.1 EJEMPLO TIPO DE APLICACIÓN DEL MODELO

Ficha 4. 1 Ejemplo tipo de aplicación del modelo de diagnóstico. FUENTE: Autor

PASO 1. REALIZACIÓN DEL ANÁLISIS DE ACEITE																																																																											
SELECCIÓN DEL EQUIPO																																																																											
Realizamos un estudio de criticidad breve a una muestra de 5 máquinas. Seleccionando a la Cargadora de Túnel, código 001 por presentar el valor de criticidad más alto.																																																																											
 COANDES Cía. Ltda. <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="9">ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE EQUIPOS</th> </tr> <tr> <td colspan="5">CATEGORÍA:</td> <td colspan="4">UBICACIÓN: Hidrovictoria</td> </tr> <tr> <td colspan="9">FACILITADOR:</td> </tr> </thead></table>										ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE EQUIPOS									CATEGORÍA:					UBICACIÓN: Hidrovictoria				FACILITADOR:																																															
ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE EQUIPOS																																																																											
CATEGORÍA:					UBICACIÓN: Hidrovictoria																																																																						
FACILITADOR:																																																																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">CÓD.</th> <th rowspan="2">DETALLE</th> <th rowspan="2">MARCA</th> <th colspan="6">FACTOR DE PONDERACIÓN</th> <th rowspan="2">CRITICIDAD</th> </tr> <tr> <th>FF</th> <th>IO</th> <th>FO</th> <th>CM</th> <th>ISA</th> <th>C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>201</td> <td>Cargadora de Ruedas</td> <td>John Deere</td> <td>2</td> <td>4</td> <td>2</td> <td>1</td> <td>3</td> <td>12</td> <td>24</td> </tr> <tr> <td>001</td> <td>Cargadora para túnel</td> <td>Fambition</td> <td>4</td> <td>7</td> <td>4</td> <td>2</td> <td>5</td> <td>35</td> <td>140</td> </tr> <tr> <td>217</td> <td>Minicargadora</td> <td>Caterpillar</td> <td>2</td> <td>4</td> <td>2</td> <td>1</td> <td>5</td> <td>14</td> <td>28</td> </tr> <tr> <td>218</td> <td>Minicargadora</td> <td>Caterpillar</td> <td>2</td> <td>4</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>3</td> <td>8</td> <td>16</td> </tr> <tr> <td>326</td> <td>Motomixer</td> <td>Fiori</td> <td>3</td> <td>7</td> <td>2</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>19</td> <td>57</td> </tr> </tbody> </table>										CÓD.	DETALLE	MARCA	FACTOR DE PONDERACIÓN						CRITICIDAD	FF	IO	FO	CM	ISA	C	201	Cargadora de Ruedas	John Deere	2	4	2	1	3	12	24	001	Cargadora para túnel	Fambition	4	7	4	2	5	35	140	217	Minicargadora	Caterpillar	2	4	2	1	5	14	28	218	Minicargadora	Caterpillar	2	4	1	1	3	8	16	326	Motomixer	Fiori	3	7	2	2	3	19	57
CÓD.	DETALLE	MARCA	FACTOR DE PONDERACIÓN						CRITICIDAD																																																																		
			FF	IO	FO	CM	ISA	C																																																																			
201	Cargadora de Ruedas	John Deere	2	4	2	1	3	12	24																																																																		
001	Cargadora para túnel	Fambition	4	7	4	2	5	35	140																																																																		
217	Minicargadora	Caterpillar	2	4	2	1	5	14	28																																																																		
218	Minicargadora	Caterpillar	2	4	1	1	3	8	16																																																																		
326	Motomixer	Fiori	3	7	2	2	3	19	57																																																																		

Figura 4. 38 Ejemplo de análisis de criticidad. FUENTE: Autor

TOMA DE MUESTRA

Tomamos la muestra de aceite y la enviamos al laboratorio. Recibimos el informe del análisis.



REPORTE DE ANALISIS DE LABORATORIO

LABORATORIO NUMERO	5074
NOMBRE DEL LUBRICANTE:	UPTIX 13W40
NOMBRE DEL CLIENTE	COANDES
REQUERIDO POR:	CONAUTO QUITO
REFERENCIA	OF.-341 JC
NUMERO DE MUESTRA:	2
FECHA DE OBTENCION:	03-12-14
FECHA DE RECEPCION:	04-12-14
FECHA DE ENTREGA:	10-12-14
PROCEDENCIA:	CARGADORA DE TONEL 001
TIEMPO/KM DE SERVICIO: HR	250
HOROMETRO/KM TOTAL: HR	0
APARIENCIA	NEGRO
AGUA POR CREPITACION	NEGATIVO
VISCOSIDAD A 40°C CST,ASTM 445	
VISCOSIDAD A 100°C CST,ASTM 445	18.15
TBN , ASTM D-2898	9.39
OXIDACION, ASTM E-2412	12.90
SULFATACION, ASTM E-2412	20.84
NITRACION, ASTM E-2412	0
METALES DE DESGASTE, ASTM D-6595	
METAL DE DESGASTE CROMO, Cr, ppm	12
METAL DE DESGASTE NIQUEL, Ni, ppm	1
METAL DE DESGASTE COBRE, Cu, ppm	10
METAL DE DESGASTE ESTAÑO, Sn, ppm	0
METAL DE DESGASTE ALUMINO, Al, ppm	16
METAL DE DESGASTE PLOMO, Pb, ppm	6
METAL DE DESGASTE HIERRO, Fe, ppm	92
METAL DE DESGASTE, Si, ppm	50

COMENTARIOS

X

5074

Atención viscosidad alta. Adicional se obseva una elevada concentración de Silicio (Si). El aceite correspondiente no está apto para continuar en servicio.

Figura 4. 38 Ejemplo de análisis de laboratorio. FUENTE: Conauto

PASO 2. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DE AA

Ingresamos en el programa los valores para cada parámetro que encontramos en el informe de laboratorio. Tras comparar los valores de la muestra con los valores límites guardados en la memoria, nos arroja como resultado valores fuera de límite para los parámetros de Viscosidad, Oxidación, Sulfatación, Silicio y Cromo.

SALUD			
PARAMETRO	UNIDAD	VALOR	ANALISIS
VISCOSIDAD	Cst 100°	18.15	VALOR NO ACEPTABLE
TBN	mg KOH /g	9.39	VALOR ACEPTABLE
OXIDACION	-	12.9	VALOR NO ACEPTABLE
SULFATACION	-	20.84	VALOR NO ACEPTABLE
NITRACION	-	0	VALOR ACEPTABLE
CONTAMINACION			
PARAMETRO	UNIDAD	VALOR	ANALISIS
AGUA	-	NEGATIVO	VALOR ACEPTABLE
SILICIO (SI)	ppm	50	VALOR NO ACEPTABLE
DESGASTE			
PARAMETRO	UNIDAD	VALOR	ANALISIS
HIERRO (FE)	ppm	92	VALOR ACEPTABLE
COBRE (CU)	ppm	10	VALOR ACEPTABLE
PLOMO (PB)	ppm	6	VALOR ACEPTABLE
ALUMINIO (AL)	ppm	16	VALOR ACEPTABLE
CROMO (CR)	ppm	12	VALOR NO ACEPTABLE
ESTANO (SN)	ppm	0	VALOR ACEPTABLE
NIQUEL (NI)	ppm	1	VALOR ACEPTABLE

Figura 4. 39 Ejemplo de resultados de análisis de aceite.
FUENTE: Software de análisis de aceite COANDES

Ahora usando la función detalle obtenemos la interpretación de los valores que se encuentran fuera de los límites.

SALUD	
PARAMETRO	ANALISIS
VISCOSIDAD	Alta Viscosidad: EFECTO: Provoca aumento de presión del aceite, daño en la bomba de aceite, acorta vida de filtros. CAUSAS: 1.Contaminación por agua 2.Contaminación de hollín 3.Contaminación por tierra ACCIONES: 1.Revisar empaque de cabezote, perforación de camisas o bloque 2.Revisar calidad del combustible, verificar calidad de combustión, revisar funcionamiento de bomba inyectora. 3.Revisar filtro de aire. Revisar fugas en circuito de aspiración. Revisar turbo (Si equipa).
OXIDACION	EFECTO: Formación de películas barniz o lacas en las superficies de los elementos del motor. Reducción de la vida útil del aceite CAUSAS: La oxidación esta relacionada al aumento de la acidez del aceite. ACCIONES: Valores muy altos de oxidación y valores muy bajos de TBN corroboran mala calidad de combustible
CONTAMINACION	
PARAMETRO	ANALISIS
SILICIO (SI)	EFECTO:Provoca el desgaste acelerado de los elementos metálicos del motor (efecto lija). Daño en camisas, anillos, árbol de levas y cigüeñal. CAUSAS: Contaminación del sistema de alimentación de aire por el polvo del ambiente. ACCIONES: Revisar estado del filtro de aire, en caso de estar en buenas condiciones se debería evaluar el reemplazo por un filtro mas eficiente. Chequeo completo del sistema de aspiración.
DESGASTE	
PARAMETRO	ANALISIS
CROMO (CR)	CAUSAS: Desgaste del acabado superficial de camisas, válvulas, rines, árbol de levas. ACCIONES: La presencia de cromo generalmente se traduce como desgaste de los anillos del pistón, necesidad de reparación.

Figura 4. 40 Ejemplo de interpretación de análisis de aceite.
FUENTE: Software de análisis de aceite COANDES

Con la información que se obtiene mediante el programa se puede analizar los problemas evidenciados en el análisis de aceite. El aceite evidencia un alto nivel de viscosidad, el programa nos presenta como una causa probable de este fenómeno la contaminación con tierra que se corresponde con el alto nivel de silicio. Los efectos de las altas concentraciones de silicio provocaran el desgaste acelerado debido a la abrasión.

La oxidación presenta un nivel alto causado por aumentos de la acidez del aceite, estos ácidos provocan corrosión en la superficie de los elementos. El alto valor del cromo corrobora este fenómeno ya que evidencia un desgaste superficial de elementos como camisas, anillos y árbol de levas.

3. DIAGNÓSTICO DE FALLAS CAUSAS Y EFECTOS

Una vez interpretado el análisis de aceite nos valemos del manual de diagnóstico para extender la información que tenemos sobre el fallo, hallar sus efectos y emitir el diagnóstico.

ANILLOS [18]

Los anillos suelen presentar problemas y hasta desgaste y/o fractura ya sea en funcionamiento o montaje:

Desgaste por Abrasivo

Comúnmente las fallas que presentan los anillos, principalmente los anillos de compresión está dado por el abrasivo, tierra y polvo, que ingresa del ambiente. Al darse este proceso de abrasivos en las caras del anillo, no solo que se pierde por completo la cubierta de cromo, sino que hay casos en los que se da el aumento en la abertura del aro. Por lo general, los anillos más cercanos a la cabeza del pistón son los que con más facilidad se desgastan, y como las superficies están estriadas, existe un mayor desprendimiento de partículas hacia las camisas.

Figura 4. 41 Sección del manual de diagnóstico consultada para el ejemplo.
FUENTE: Manual de diagnóstico de fallas de motores diésel

En nuestra interpretación del AA definimos que uno de los elementos que sufren desgaste debido a las altas concentraciones de silicio son los anillos. La información que encontramos en el manual nos habla igualmente de una pérdida de la cubierta de cromo en los mismos ocasionada por el desgaste y manifiesta también la posibilidad de un aumento de la abertura del aro. Este fenómeno puede producir una disminución de la compresión en la cámara de combustión.

Finalmente para completar el diagnóstico elaboramos un diagrama de Ishikawa donde determinamos las causas del desgaste de anillos (efectos).

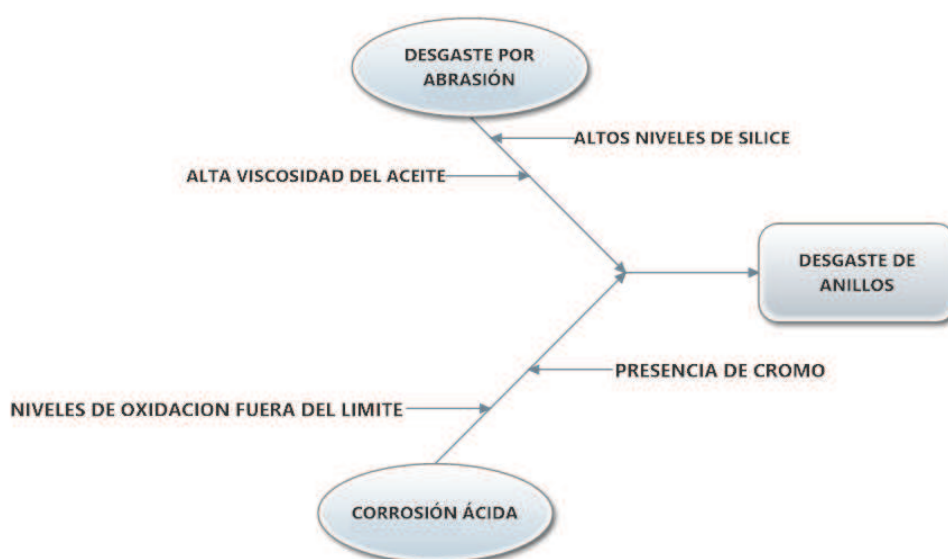


Figura 4. 42 Ejemplo. Diagrama de Causa-Efecto.
FUENTE: Autor

4.4 PROPUESTA DE RECURSOS DOCUMENTALES TÉCNICOS PARA EL MANTENIMIENTO

Como parte de la propuesta de mejora del mantenimiento se propone la implementación de dos nuevos tipos de documentos técnicos que contribuirán a un control más adecuado de los procesos de mantenimiento que se ejecutan actualmente.

4.4.1 FICHAS DE CONTROL DE MAQUINARIA

Actualmente los únicos documentos técnicos que se manejan en el frente de trabajo para el registro de información de la maquinaria son: Parte diario de maquinaria (Fig. 4.5) y Solicitud de trabajo mecánico (Fig. 4.4). Estos documentos están a cargo de los residentes de plaza quienes los completan en base a los trabajos que ejecutan en cada uno de los frentes de construcción.

En un análisis del proceso de manejo de los registros de la maquinaria en el campamento del proyecto, se evidencia que las dos fichas actuales no proveen la suficiente información al Supervisor de Obra para poder elaborar un buen informe semanal de la maquinaria que permita un adecuado control de la operatividad y la confiabilidad operacional de las mismas.

Por ello se propone la adopción tres nuevas fichas y la modificación de la ficha de solicitud de trabajos, para de esta manera mejorar la gestión de la información de las máquinas. De esta manera las fichas que serán manejadas en el mantenimiento son:

- Ficha de solicitud de trabajos (Reemplaza a la solicitud de trabajo de taller)
- Ficha de orden de repuestos
- Ficha historial de reparaciones
- Ficha de combustible
- Parte diario de maquinaria (No se modifica) (Fig. 4.5)

4.4.1.1 FICHA DE SOLICITUD DE TRABAJOS

Este formato contiene las tareas de mantenimiento a ejecutar, así como las instrucciones, requerimientos de recursos, información de asignación y los tiempos estimados de duración para cada trabajo. La presente ficha es responsabilidad del supervisor de Supervisor de Obra quien la elabora asesorado por el Residente de plaza.

Ficha 4. 2 Solicitud de trabajos. FUENTE: Autor

		FICHA SOLICITUD DE TRABAJOS	
FECHA		HOROMETRO	
EQUIPO		MODELO	
CODIGO		PLAZA	
PROYECTO		No ORDEN	
PROBLEMA O DANO			
ASIGNACION			
MANTENIMIENTOS INTERNOS		MECANICO	
REPARACIONES EXTERNAS		TALLER	
PARTES NECESARIAS PARA LA REPARACION :			
ORDEN DE RESPUESTOS No			
TIEMPOS			HORAS:
Taller			
Repuestos			
Otros			
TOTAL			
OBSERVACIONES			
Residente de Plaza		Revisado. Supervisor de Obra	
Recibido. Jefatura			

4.4.1.2 FICHA DE ORDEN DE REPUESTOS

La ficha de orden de repuestos está asociada a la ficha de solicitud de trabajos, en ella consta el detalle de repuestos requeridos para las reparaciones especificadas en la solicitud. Esta ficha es elaborada por el Supervisor de obra en conjunto con el Residente de plaza.

Ficha 4. 3 Orden de repuestos. FUENTE: Autor

		FICHA ORDEN DE REPUESTOS	
FECHA		CODIGO	
MARCA		OPERADOR	
MODELO		PLAZA	
EQUIPO		No ORDEN	
MECANICO QUE SOLICITA			
DESCRIPCION		PROVEEDOR	CANTIDAD
RESIDENTE DE PLAZA		AUTORIZADO SUPERVISOR OBRA	RECIBIDO JEFATURA

4.4.1.3 FICHA HISTORIAL DE REPARACIONES

La ficha historial de reparaciones está pensada para llevar el registro de los trabajos correctivos realizados en cada máquina. Esta hoja será de exclusivo manejo por el Residente de plaza quien la usara para el control de la operatividad del equipo, además en ella se registrara la información que luego le permitirá realizar el análisis de criticidad permanente de los equipos.

			FICHA HISTORIAL DE REPARACIONES							
			CODIGO:				DESCRIPCION:			
			MODELO DEL MOTOR:				AÑO:			
			UBICACION:				No CHASIS:			
			MARCA:							
FECHA	No ORDEN TRABAJO	HOROMETRO	PROBLEMA	REPARADO	REPUESTOS EMPLEADOS	MECANICOS INTERNOS	TALLER EXTERNO	OBSERVACIONES		

Ficha 4. 4 Historial de reparaciones. FUENTE: Autor

4.4.1.4 FICHA DE COMBUSTIBLE

La ficha de combustible es responsabilidad de los Residentes de Plaza y en ella se registrará el consumo de diésel de la maquinaria.

Ficha 4. 5 Combustible. FUENTE: Autor

	FICHA DE COMBUSTIBLE			
	FECHA:		MAQUINA:	
	PLAZA:		CODIGO:	
CANTIDAD	DESCRIPCION			
OPERADOR		RESIDENTE PLAZA	SUPERVISOR OBRA	

4.4.2 FICHAS GUÍA DE PROGRAMACIÓN DEL MANTENIMIENTO

Las fichas de programación del mantenimiento son sencillas guías que permiten el control de parámetros que son comunes a todos los motores diésel. Estas fichas se repartirán a todos los operadores de las maquinas a fin de que sean ellos mismos quienes estén pendientes de la ejecución de los trabajos descritos, ya sea por parte de los asistentes mecánicos (trabajos internos) o por personal especializado (trabajos externos). En caso de los puntos que solo requieren revisión serán los mismos operadores quienes lo ejecuten.

4.4.2.1 FICHA GUÍA 50 HORAS

Ficha 4. 6 Guía de mantenimiento programado. 50 horas. FUENTE: Autor

50 HORAS						
	ELEMENTO	CHEQUEO	LIMPIEZA	CAMBIO	AJUSTE	REVISIÓN NIVEL
ACEITE DEL MOTOR						X
FILTRO DE ACEITE		X				
FILTRO DE AIRE DEL MOTOR		X				
REFRIGERANTE DEL MOTOR						X
LÍNEAS DE COMBUSTIBLE		X				

4.4.2.2 FICHA GUÍA 100 HORAS

Ficha 4. 7 Guía de mantenimiento programado. 100 horas. FUENTE: Autor

100 HORAS						
	ELEMENTO	CHEQUEO	LIMPIEZA	CAMBIO	AJUSTE	REVISIÓN NIVEL
	ACEITE DEL MOTOR					X
	FILTRO DE ACEITE	X				
	FILTRO DE AIRE DEL MOTOR			X		
	REFRIGERANTE DEL MOTOR					X
	FILTRO DE COMBUSTIBLE	X				
	ELECTROLITO EN LA BATERÍA					X
	TENSIÓN CORREA DEL VENTILADOR	X				
	SEPARADOR DE AGUA		X			

4.4.2.3 FICHA GUÍA 200 HORAS

Ficha 4. 8 Guía de mantenimiento programado. 200 horas. FUENTE: Autor

200 HORAS						
	ELEMENTO	CHEQUEO	LIMPIEZA	CAMBIO	AJUSTE	REVISIÓN NIVEL
	ACEITE DEL MOTOR			X		
	FILTRO DE ACEITE			X		
	FILTRO DE AIRE DEL MOTOR			X		
	REFRIGERANTE DEL MOTOR					X
	FILTRO DE COMBUSTIBLE			X		
	ELECTROLITO EN LA BATERÍA					X
	TENSIÓN CORREA DEL VENTILADOR	X				
	SEPARADOR DE AGUA		X			

4.4.2.4 FICHA GUÍA 500 HORAS

Ficha 4. 9 Guía de mantenimiento programado. 500 horas. FUENTE: Autor

500 HORAS						
	ELEMENTO	CHEQUEO	LIMPIEZA	CAMBIO	AJUSTE	REVISIÓN NIVEL
	ACEITE DEL MOTOR					X
	FILTRO DE ACEITE	X				
	FILTRO DE AIRE DEL MOTOR			X		
	REFRIGERANTE DEL MOTOR					X
	FILTRO DE COMBUSTIBLE	X				
	DEPOSITO COMBUSTIBLE		X			
	CAMISA DE AGUA DEL RADIADOR		X			
	ANTICONGELANTE DEL REFRIGERANTE	X				
	BUJÍAS DE CALOR				X	
	TUBO DE VENTILACIÓN CARTER		X			

4.4.2.5 FICHA GUÍA 1000 HORAS

Ficha 4. 10 Guía de mantenimiento programado. 1000 horas. FUENTE: Autor

1000 HORAS						
	ELEMENTO	CHEQUEO	LIMPIEZA	CAMBIO	AJUSTE	REVISIÓN NIVEL
	ACEITE DEL MOTOR			X		
	FILTRO DE ACEITE			X		
	FILTRO DE AIRE DEL MOTOR			X		
	REFRIGERANTE DEL MOTOR			X		
	FILTRO DE COMBUSTIBLE			X		
	JUEGO DE VÁLVULAS				X	
	SUSPENSIÓN DEL MOTOR	X				
	TAPA DE PRESIÓN DEL REFRIGERANTE			X		
	TERMOSTATO			X		
	TUBOS DE COMBUSTIBLE			X		
	BUJÍAS DE CALOR				X	

4.4.2.6 FICHA 2000 HORAS

Ficha 4. 11 Guía de mantenimiento programado. 2000 horas. FUENTE: Autor

2000 HORAS						
	ELEMENTO	CHEQUEO	LIMPIEZA	CAMBIO	AJUSTE	REVISIÓN NIVEL
	ACEITE DEL MOTOR			X		
	FILTRO DE ACEITE			X		
	FILTRO DE AIRE DEL MOTOR			X		
	REFRIGERANTE DEL MOTOR			X		
	FILTRO DE COMBUSTIBLE			X		
	BUJÍAS DE CALOR			X		
	CORREA DEL VENTILADOR			X		
	RADIADOR		X			
	TURBOALIMENTADOR	X				
	INYECTORES	X				

CONCLUSIONES

- La implantación de un estudio de criticidad es una estrategia sumamente valida que permite enfocar las tareas de mantenimiento sobre los equipos que requieren el mayor nivel de atención de parte del personal; el desarrollo de tareas de mantenimiento sin enfocar entendido como la realización de procesos preventivos y predictivos sobre maquinas que están operando correctamente y por consiguiente dejar de lado a otras que requieren una intervención inmediata tiene como consecuencia el desperdicio de recursos humanos, técnicos y económicos. Esta situación no es aceptable dentro de una empresa que desee implantar una filosofía proactiva para la gestión de sus equipos, el aprovechamiento de los recursos es una de los principales objetivos de contar con un adecuado proceso de mantenimiento.
- El análisis de aceite usado es una herramienta versátil ya que puede ser aplicada para conocer las causas de las fallas en casi todo tipo de motores que usen lubricantes derivados de petróleo, siempre y cuando se tenga el suficiente conocimiento técnico para la interpretación de los resultados del mismo y se plantee una metodología adecuada para el proceso que el análisis involucra. Una errónea interpretación de resultados, puede conducir a la adopción de medidas equivocadas de mantenimiento agravando la situación de los motores y poniendo en riesgo la operación de la planta.
- Es de suma importancia en la identificación de las causas de las fallas tener en cuenta las condiciones operativas y ambientales donde se desenvuelve la maquinaria. Dos equipos idénticos trabajando en condiciones operativas y ambientales disimiles no requerirán los mismos procesos de mantenimiento; por el contrario equipos similares que trabajen en plazas con similares condiciones pueden ser tratados usando los mismos criterios para la selección de sus procesos de mantenimiento y extendiendo esta definición inclusive pueden usar los mismos limites críticos para la evaluación de los resultados de análisis de aceite.
- El planteamiento para el análisis de los resultados de las pruebas de aceite se enfocó en tres aspectos fundamentales que pueden ser fácilmente determinados. El tratamiento por separado de los puntos de salud, contaminación y desgaste permite el abordaje específico de cada una de las características físicas y químicas de un aceite lubricante de motor pero no limita la interpretación de causas que conjuguen dos o más parámetros de distinta categoría, de hecho la mayoría de las información del estado de los motores que podemos extraer de los análisis estará constituida por la identificación de las consecuencias que tiene la variación de un parámetro sobre otro.

- El mantenimiento preventivo puede evolucionar hacia un enfoque proactivo si implementamos en él, herramientas adecuadas de análisis de fallos. En el caso del mantenimiento desarrollado actualmente por la empresa COANDES no se dispone de este tipo de herramientas por lo cual la adopción de un método de diagnóstico que fusione el análisis de criticidad y el análisis de aceite es un camino válido para la mejora del mantenimiento y que no afectara a los procesos ya establecidos. De esta manera la mejora no representa un gasto económico mayor ya que únicamente aprovecha completamente recursos humanos y técnicos que ya se poseen pero que se encuentran subutilizados.
- En el análisis de aceite realizado al grupo de equipos de mayor criticidad, se determinó que las mayores concentraciones nocivas fueron para el elemento contaminante silicio y el elemento de desgaste cromo, estos dos elementos están asociados en las fallas ya que el silicio que se encuentra en suspensión en el aceite tiene un efecto abrasivo que ataca el acabado superficial de los elementos del motor quienes por lo general en su superficie están constituidos de cromo. Estos dos elementos debido a su alta concentración, serían los de mayor relevancia para el control en futuros análisis de muestras, además los elementos del motor que poseen este tipo de acabado superficial tales como árboles de levas, anillos y válvulas requieren especial atención de parte de los encargados del mantenimiento de los motores de la maquinaria.
- En el proceso de mantenimiento actual aplicado en la constructora COANDES existe dos puntos que requieren la modificación inmediata de su tratamiento como son la filtración de fluidos y la calidad de combustible, se insiste en el tratamiento de estos temas ya que una adecuada visión del mantenimiento no implica únicamente la identificación de los problemas si no la adopción de medidas para corregir estos errores.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] PAYRI F.;DESANTES J. (2011). *Motores de combustión Interna Alternativos*. Reverte S.A, Barcelona.
- [2] TORMOS B. (2005). *Diagnóstico de motores diésel mediante análisis del aceite usado*. Reverte, Barcelona, 2005.
- [3] BOUCLY F.(1999). *Gestión del Mantenimiento*. AENOR, Madrid.
- [4] ALTMANN C. (2005).*El análisis de aceite como herramienta del mantenimiento proactivo en flotas de maquinaria pesada*. [Online] Recuperado de <http://www.repuestosbarcos.com>
- [5] DEL CASTILLO A, BRITO M, FRAGA E. (2009) *Análisis de Criticidad Personalizados*. Revista de Ingeniería Mecánica. No 3. ISPJAE, La Habana.
- [6] WOODHOUSE J. (1994). *Criticality Analysis Revisted*. The Woodhouse Parthnership Limited, Newbury, England.
- [7] IHOSVANNY R. (2012). *Los análisis de criticidad en el MCC: Particularidades de diferentes modelos*. Revista ML Mantenimiento en Latinoamérica. Volumen 4. Bolivia
- [8] FUNDIBEQ. *Diagrama de Pareto*. [Online] Recuperado de <http://www.fundibeq.org>
- [9] LUBLEARN. (2014). *La importancia de la selección de máquinas en un analisis de aceite*. Noria Latin America. [Online] Recuperado de <http://noria.mx/lublearn/la-importancia-de-la-seleccion-de-las-maquinas-en-un-programa-de-analisis-de-aceite/>
- [9] WIDMAN INTERNATIONAL SLR. *Viscosidad*. [Online] Recuperado de <http://www.widman.biz/Analisis/viscosidad.html>
- [10] WIDMAN INTERNATIONAL SLR. *Análisis de parámetros de contaminacion* [Online] Recuperado de <http://www.widman.biz/Analisis/contaminacion.html>
- [11] WIDMAN INTERNATIONAL SLR. *Análisis de parámetros de desgaste* [Online] Recuperado de <http://www.widman.biz/Analisis/desgaste.html>
- [12] CHEVRON U.S.A. Inc. *Especificaciones URSA PREMIUM TDX SAE 15W40*. Hdmo-4400s.
- [13] WIDMAN R. (2007).. Interpretando el análisis de aceite. WIDMAN INTERNATIONAL SLR. Boletín 47. [Online] Recuperado de <http://www.widman.biz/boletines/46.html>

- [14] ALVAREZ S. Reporte de Análisis No ALPEP 061-013. Laboratorio de Petróleos. EPN. 2013
- [15] WIDMAN INTERNATIONAL SLR. *Filtros de aire* [Online] Recuperado de <http://www.widman.biz/Productos/filtros-aire.html>
- [16] CEDILLO R, JARAMILLO D. (2014) *Estudio de la incidencia del uso de filtros de aceites alternos en el envejecimiento prematuro del aceite del motor de combustión interna*. Tesis de Grado. Universidad Politécnica de Salesiana. Cuenca
- [17] LYS FILTROS. Abc de la filtración. [Online] Recuperado de <http://www.filtroslys.com.pe/content/pagina.php?pID=493>
- [18] NTE INEN 1489 2021. Productos derivados del petróleo. Diésel. Requisitos. Instituto Ecuatoriano de Normalización. Sexta Revisión. 2012-04.
- [19] CHIRE H. (2008) *Averías en los motores diésel*. Profesor de autotrónica y automoción. Arequipa.
- [20] ERPELDING N.L. (1979) *Reparación y puesta a punto de motores diésel*. Editorial Marcombo, Barcelona.
- [21] EDUTEKA. (2006) *Diagrama de causa-efecto*. [Online] Recuperado de <http://www.eduteka.org/DiagramaCausaEfecto.php>



Constructora de los Andes Coandes CIA. Ltda.

DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA

PARTES DIARIOS MAQUINARIA

ELABORADO POR:**FECHA DE ENVIO:**[illegible]

ANEXO A2. REGISTRO DE MANTENIMIENTO DE MAQUINARIA

 Constructora de los Andes Coandes CIA. Ltda.											
DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA											
REGISTRO DE MANTENIMIENTO DE MAQUINARIAS											
ELABORADO POR:											
FECHA DE ENVIO:											
FECHA	N° SOLICITUD TRABAJO TALLER	TIPO MAQ	COD MAQ	HOROMETRO	REALIZADO POR	HORAS DE PARA				DETALLE DE TRABAJOS	OBSERVACIONES
						TRABAJOS	TRABAJOS EXTERNOS	REPUESTOS	TOTAL		
7-ene-14	905	MINICARGADORA	6071	5919	GERMAN VITERI, MIGUEL PALACIOS					CAMBIO DE PINES Y BOCINES DE CUCHARON	
9-ene-14	907	CARGADORA	204	12700	GERMAN VITERI, MIGUEL PALACIOS					MANTENIMIENTO DE 250 HORAS	
16-ene-14	912	DUMPER	134		GERMAN VITERI, MIGUEL PALACIOS					REPARACION DE MOTOR, CAMBIO DE ACEITES DE CAJA Y CORONA	
28-ene-14	914	CARGADORA	204		GERMAN VITERI, MIGUEL PALACIOS					REVISION DE SISTEMA ELECTRICO	
29-ene-14	915	DUMPER	134		GERMAN VITERI, MIGUEL PALACIOS					REVISION DE PROBLEMAS EN EL MOTOR	
30-ene-14	916	COMPRESOR	0709		GERMAN VITERI, MIGUEL PALACIOS					CAMBIO DE BOMBA DE INYECCION	
31-ene-14	917	DUMPER	134		GERMAN VITERI, MIGUEL PALACIOS					CAMBIO DE BOMBA DE ACEITE	
8-abr-14		COMPRESOR	392	114,4	HOLGER OCHOA	40	40	40	120	REPARACION COMPLETA DE MOTOR	
23-abr-14		COMPRESOR	014		HOLGER OCHOA	20	20	20	60	REPARACION COMPLETA DE MOTOR	
5-feb-14	919	VIBROAPISONADOR			GERMAN VITERI, MIGUEL PALACIOS				0	DEJAR EN TALLER MERO NEY PARA REPARACION	
5-feb-14	920	TRACK DRILL	659		GERMAN VITERI, MIGUEL PALACIOS				0	RETIRAR MOTOR NUEVO	
6-feb-14	921	GENERADOR	229		GERMAN VITERI, MIGUEL PALACIOS	8	8	8	24	SE COLOCA CABEZOTES Y BOMBA DE INYECCION	
8-feb-14	923	GENERADOR	229		MIGUEL PALACIOS	4			4	DESPACHAR PARA ESMERALDAS	
3-mar-14	924	PLANTA ASFALTO	301		MIGUEL PALACIOS, DAVID MANOBANDA	120			120	DESMONTAJE DE PLANTA DE ASFALTO	
17-mar-14	925	TORRE GRUA	263		GERMAN VITERI, MIGUEL PALACIOS	40			40	COLOCAR CABLEADO ELECTRICO DE ALIMENTACION DE TORRE	
1-abr-14	926	EXCAVADORA	220		GERMAN VITERI, MIGUEL PALACIOS	24		24	48	SE COLOCA TUBO DE ESCAPE, VENTILADOR DE MOTOR Y CATALINA DE RODAJE.	
15-abr-14	927	ROZADORA	436		GERMAN VITERI, MIGUEL PALACIOS	8	8	8	24	CAMBIO DE RODAMIENTOS Y REVISION DE MOTOR HIDRAULICO	
5-may-14	929	COMPRESOR	709		GERMAN VITERI, MIGUEL PALACIOS	2			2	TRASLADO DE COMPRESOR A TALLER AUTOMOTORS PARA REPARACION	
5-may-14	930	COMPRESOR	014	0.5	GERMAN VITERI, MIGUEL PALACIOS	8			8	REVISION DE SISTEMA HIDRAULICO, CAMBIO DE FILTRO SEPARADOR DE ACEITE (TANQUE)	
7-may-14	931	MARTILLO			GERMAN VITERI, MIGUEL PALACIOS	40			40	SE CAMBIA BASE DE MARTILLO, REVISION DE COMPONENTES INTERNOS, ARMADO DE MARTILLO Y RECARGADO DE NITROGENO	
6-may-14	932	VIBROAPISONADOR	0048		GERMAN VITERI, MIGUEL PALACIOS	16			16	CAMBIO DE ACEITE DE MOTOR, CAMBIO DE CABLE DE ACELERADOR	
8-may-14	933	RODILLO COMPACTA	483		GERMAN VITERI, MIGUEL PALACIOS	8			8	CAMBIO DE ACEITE Y FILTROS DE MOTOR (AIRE, ACEITE, COMBUSTIBLE)	
12-may-14	935	MARTILLO			GERMAN VITERI, MIGUEL PALACIOS	8			8	CAMBIO DE ESTRUCTURA, REVISION COMPONENTES INTERNOS Y CARGA DE NITROGENO	
22-may-14	938	EXCAVADORA	220		MIGUEL PALACIOS	8			8	PRENDER MAQUINA Y REALIZAR PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO	
26-may-14	939	LANZADORA DE HOP	3370		GERMAN VITERI, MIGUEL PALACIOS	16			16	REALIZAR LAS CONEXIONES PARA PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO	

29-may-14	941	RETROEXCAVADORA	239		MIGUEL PALACIOS	4			4	DESMONTE DE RADIADOR	
5-jun-14	943	DUMPER	134		GERMAN VITERI, MIGUEL PALACIOS	8			8	SE REALIZA AJUSTE DE TIEMPO DE DISTRIBUCION, EN PROYECTO	
11-jun-14	945	MINICARGADORA	217		GERMAN VITERI, MIGUEL PALACIOS	24		16	40	ENDEREZADO DE CABINA Y COMPUERTA DE MOTOR, INSTALACION DE FAROS DELANTEROS Y POSTERIORES.	
16-jun-14	947	DUMPER	134		GERMAN VITERI, MIGUEL PALACIOS	8			8	CAMBIO DE VARILLAS DE BALANCINES, CALIBRACION DE VALVULAS.	
17-jun-14	948	CARGADORA	204		MIGUEL PALACIOS	2	2		4	ARREGLO DE NEUMATICO POSTERIOR	
18-jun-14	949	MINICARGADORA	218		GERMAN VITERI, MIGUEL PALACIOS	8			8	REVISION Y CALIBRACION DE BANCO DE VALVULAS DE SISTEMA HIDRAULICO	
18-jun-14	950	RETROEXCAVADORA	239		GERMAN VITERI, MIGUEL PALACIOS	8			8	DESMONTE Y MONTE DE CILINDRO HIDRAULICO DEL BOOM	
19-jun-14	951	RETROEXCAVADORA	239		MIGUEL PALACIOS	4		4	8	DESMONTE Y MONTE DE RADIADOR	
20-jun-14	952	CARGADORA	204		GERMAN VITERI, MIGUEL PALACIOS	4		4	8	CAMBIO DE CRUCETA DE CARDAN	
24-jun-14	955	RETROEXCAVADORA	239		GERMAN VITERI, MIGUEL PALACIOS	4			4	DESMONTE DE BRAZO DE EXCAVACION	
25-jun-14	956	RETROEXCAVADORA	239		MIGUEL PALACIOS	2			2	TRASLADO DE MAQUINA PARA REALIZAR TRABAJO DE REPARACION	
26-jun-14	957	VIBROAPISONADOR			GERMAN VITERI, MIGUEL PALACIOS	4			4	REVISION Y/O REPARACION DE VIBROAPISONADORES LLEGADOS DE PROYECTO RIOBAMBA	
4-jul-14	960	RETROEXCAVADORA	239		MIGUEL PALACIOS	2			2	TRASLADO DE MAQUINA DE TALLERES MACK A CAMPAMENTO	
7-jul-14	961	RETROEXCAVADORA	239		GERMAN VITERI, MIGUEL PALACIOS	20		12	32	SE CAMBIA DE RADIADOR, CAMBIO DE BOCINES POSTERIORES DE BRAZO, CAMBIO DE TERMINALES DE DIRECCION, MONTE DE BRAZO DE EXCAVACION	
15-jul-14	964	RETROEXCAVADORA	239		GERMAN VITERI, MIGUEL PALACIOS	8		8	16	SE COLOCA TERMINALES DE DIRECCION, SE COLOCA CAUCHO DE SEGURIDAD EN VIDRIO, ENGRASADO COMPLETO	
17-jul-14	965	EXCAVADORA	223		MIGUEL PALACIOS	4			4	COMPRA DE ESLABONES, PINES Y BOCINES PARA ENVIAR AL PROYECTO ESMERALDAS PARA LA MAQUINA	
17-jul-14	966	RETROEXCAVADORA	239		MIGUEL PALACIOS	2			2	EMBARCAR MAQUINA EN PLATAFORMA PARA EL TRANSPORTE AL PROYECTO ESMERALDAS	
25-jul-14	968	BOMBA DE HORMIG	311		GERMAN VITERI, MIGUEL PALACIOS	10	4	6	20	REVISION DE FUNCIONAMIENTO, CAMBIO DE SELLOS DE CILINDRO DE COMPUERTA	
30-jul-14	971	CARGADORA	001		GERMAN VITERI, MIGUEL PALACIOS	4			4	TRASLADO DE LA MESA DE TRANSMISION AL PROYECTO HIDROVICTORIA	
6-ago-14	975	VIBROAPISONADOR			GERMAN VITERI, MIGUEL PALACIOS	8			8	REVISION Y/O REPARACION DE VIBROAPISONADORES Y CORTADORAS DE ASFALTO	
	982	EXCAVADORA	224		MIGUEL PALACIOS	4			4	ENGRASADO E INSTALACION DE FAROS	
	983	MINICARGADORA	216		MIGUEL PALACIOS	16			16	INSTALACION DE FAROS Y REVISION DE SISTEMA ELECTRICO, CAMBIO DE ACEITE Y FILTROS DE MOTOR (AIRE, COMBUSTIBLE Y ACEITE)	
	984	MINICARGADORA	971		MIGUEL PALACIOS	40		16	56	REPARACION DE BASE DE CUCHARON, PINES Y BOCINES, REPARACION DE CILINDROS DE CUCHARON, CAMBIO DE CAÑERIAS DE VALVULA DE ALIVIO, CAMBIO DE ACEITE HIDRAULICO, REVISION DE SISTEMA DE LUCES	
	990	BOMBA DE HORMIG	311		MIGUEL PALACIOS	40			40	DESMONTE DE TOLVA Y LIMPIEZA DE CILINDROS DE BOMBEO DE HORMIGON	
	991	RETROEXCAVADORA	367		MIGUEL PALACIOS	25		15	40	CAMBIO DE PINES Y BOCINES DE CUCHARON Y BRAZO DE EXCAVACION, CAMBIO DE ACEITE DE MANDOS FINALES, CORTAR CABINA, REVISION SISTEMA ELECTRICO.	
	992	CARGADORA	201		MIGUEL PALACIOS	2			2	ENTREGAR MAQUINA EN TALLER PARA REVISION Y TRABAJO CORRECTIVOS.	
18-nov-14	996	COMPRESOR	389		MIGUEL PALACIOS	2			2	ALMACENADO EN NAVE	
18-nov-14	997	MARTILLO			MIGUEL PALACIOS	4			4	DESARMADO DE MARTILLO PARA RECARGA DE NITROGENO	
19-nov-14	998	MARTILLO			MIGUEL PALACIOS	8		8	16	DESARMADO DE MARTILLO PARA CAMBIO DE SELLOS	



Constructora de los Andes Coandes CIA. Ltda.

DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA

REGISTRO DE GASTOS

ELABORADO POR:

FECHA DE ENVIO:

(1) VALORES SIN IVA

[illegible]

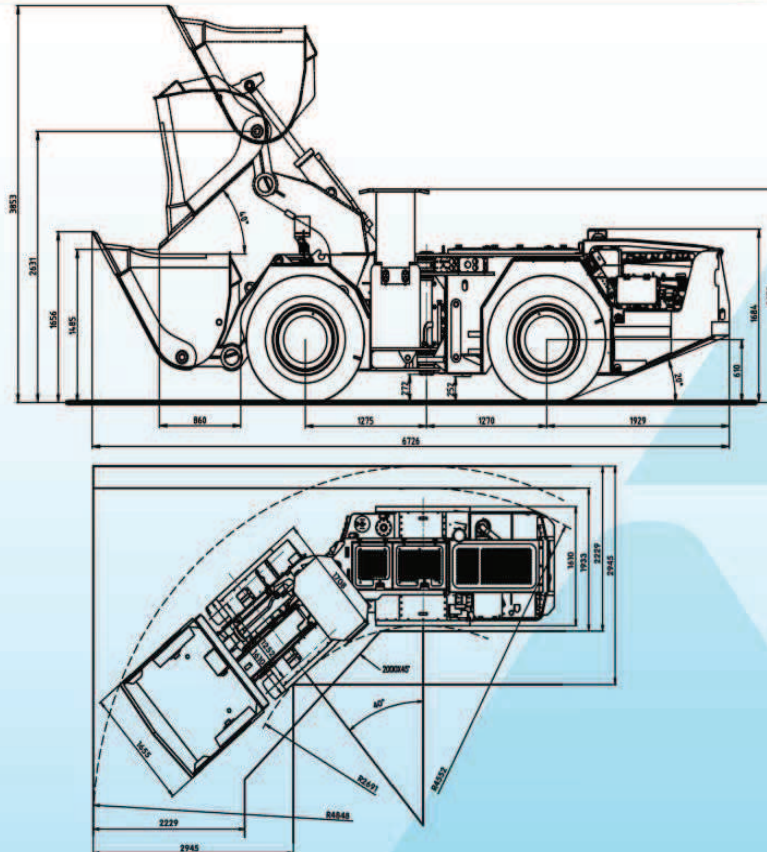
ANEXO A4. CHECK LIST. ESTADO OPERATIVO DE LA MAQUINA.

LISTA DE CHEQUEO MAQUINARIA PESADA											
DATOS GENERALES DE IDENTIFICACION:					FECHA:						
MODELO	MARCA	SERIE			CODIGO INTERNO		EQUIPO				
OPERADOR		UBICACIÓN				OTROS					
1. PARTES ELECTRICAS		BUENO	AVERIADO	OBSOLETO	NO EQUIPA	5. HERRAMIENTA DE CARGA O CORTE		BUENO	AVERIADO	OBSOLETO	NO EQUIPA
MANOMETRO						BULLDOZER Y U					
FUSIBLES						CUCHILLAS					
LAMPARAS						ESQUINERAS					
STOP						CUCHARON					
BATERIA						RODILLO					
SOLENOIDE						MARTILLO ROMPEDOR					
ELEVADORES						MARTILLO ROTATIVO					
PACHAS						DIENTES					
SWITCH						TOLVA					
RADIO											
BOCINA											
AIRE ACONDICIONADO						6. ESTADO/LATONERIA Y PINTURA		BUENO	AVERIADO	OBSOLETO	NO EQUIPA
INDICADORES DE SERVICIO						PINTURA GENERAL					
HOROMETRO						DESCANZA BRAZOS					
						LATAS DE PISO					
						ASIENTO					
2. ELEMENTOS EXTERNOS		BUENO	AVERIADO	OBSOLETO	NO EQUIPA	VIDRIOS					
ESCAPE						CABINA					
EXTENSION DE ESCAPE						PLUMILLAS					
SILENCIADOR						PALANCA DE MANDO					
TRAMPA DE AGUA						GATO DE SOPORTE					
TANQUES Y TAPAS						VOLANTE					
OJO MEDIDOR TANQUE HIDRAULICO						ESPEJOS					
BUJES						CINTURON DE SEGURIDAD					
PINES											
PERA											
VARILLAS MEDIDORAS						7. SISTEMA HIDRAULICO		BUENO	AVERIADO	OBSOLETO	NO EQUIPA
						BOMBA HIDRAULICA					
						TANQUE HIDRAULICO					
						CILINDROS HIDRAULICOS					
3. FILTROS Y NIVELES		BUENO	AVERIADO	OBSOLETO	NO EQUIPA	CONTROLES DE PRESION					
FILTRO DE ACEITE DE MOTOR						BUJES					
FILTRO DE COMBUSTIBLE						PINES					
FILTRO TRAMPA DE COMBUSTIBLE						TAMBOR SEPARADOR					
FILTRO TRAMPA DE AGUA											
FILTRO DE AIRE INTERNO											
FILTRO DE AIRE EXTERNO						8. TREN DE FUERZA MOTRIZ		BUENO	AVERIADO	OBSOLETO	NO EQUIPA
FILTRO SISTEMA HIDRAULICO						TURBO					
FILTRO TRANSMISION						MULTIPLE DE ADMISION					
ACEITE MOTOR						MULTIPLE DE ESCAPE					
ACEITE SITEMA HIDRAULICO						BOMBA INYECTORA					
ACEITE TRANSMISION						BOMBA DE ALIMENTACION					
ACEITE DE MANDOS FINALES						MOTOR					
ACEITE CADENAS DEL TANDER						TRANSMICION					
ACEITE ESFERICAS						CARTER					
ACEITE DE MOTOR DE GIRO											
4. LLANTAS		BUENO	AVERIADO	OBSOLETO	NO EQUIPA						
DELANTERA IZQUIERDA											
DELANTERA DERECHA											
POSTERIOR IZQUIERDA											
POSTERIOR DERECHA											
TRASERA IZQUIERDA											
TRASERA DERECHA											
OBSERVACIONES											
FALTANTES DE EQUIPO											
OPERADOR		RESPONSABLE						VERIFICO			

ANEXO A5. ESPECIFICACIONES. CARGADORA FAMBITION FAML2.

FAMBITION
FAMBITION MINING TECHNOLOGY CO., LTD.

FAML2 Mining Loader



General Data

Bucket(SAE heap)	2.0m ³
Payload	4t
Max. Breakout force	102kn
Max. Tractive force	130kn
Operating weight	12.5t
Turning angle	± 40°
Oscillation	± 7°
Driving Speed	
1st	0-5.2km/h
2nd	0-9.6km/h
3rd	0-16km/h
4th	0-26.7km/h

Engine

Two-stage combustion air-cooled
DEUTZ F6L914
Rated power: 89KW
Rated rotation: 2500r/min
● Purifier & Silencer
● Two staged dry type air filter

Transmission

Fixed shaft, electric shift controlled
transmission 4 speeds
forward/reverse;
USA DANA made R32000 series;

Single stage & phase centripetal turbine
torque converter;
USA DANA made C272 series.

Axle

Front
Fambition made FAMA35N series with
USA produced NO-SPIN differential;
Service brake, Parking brake,
Emergency brake 3 in 1;
Spring applied hydraulically released
brakes with individual cooling circuit;
Posi-stop brakes installed.

Rear

Fambition made FAMA35 series with
standard differential;
Service brake, Parking brake,
Emergency brake 3 in 1;
Spring applied hydraulically released
brakes with individual cooling circuit;
Posi-stop brakes installed.

Hydraulic system

Steering valve
USA Parker
Pilot controlled valve
Rated working pressure: 17 Mpa

Working valve
Germany Rexroth
Pilot controlled valve
Rated working pressure: 16 Mpa
Hydraulic pump
USA Parker
Duplex gear pump

Electric system

● Alternator 28V/35A
● Battery 2 × 12V/90 Ah
● Front lights: 2 × 40W LED
● Rear lights: 2 × 40W LED

Operator compartment

Seat: cushioned, adjustable seat;
Cab Controls:
Bucket lift & dump: hydraulic pilot type;
Driving: electric type;
Steering: hydraulic pilot type

Tire size

Model: 12.00-24

Other options

● On request

Specifications may change without notice in advance.

FAMBITION MINING TECHNOLOGY CO., LTD.

Office ADD: Room 3803, Casland Center, No.10, Yan'erdao Road, Qingdao, Shandong province, China.

Factory ADD: Yangqing Road, Chengyang District, Qingdao, Shandong province, China.

Http://www.fambition.com

P.C.: 266071 Tel: +86-532-87900000 Fax: +86-532-85777358

P.C.: 266109 Tel: +86-532-85784255 Fax: +86-532-85784541

E-mail: info@fambition.com

ANEXO A6. ESPECIFICACIONES. MOTOR DEUTZ F6L914.

► Technical data

Engine type	F 3 L 914	F 4 L 914	F 5 L 914	F 6 L 914	BF 3 L 914	BF 4 L 914	BF 6 L 914	BF 6 L 914 C
Number of cylinders	3	4	5	6	3	4	6	6
Bore/stroke	102/132 4.01/5.19	102/132 4.01/5.19	102/132 4.01/5.19	102/132 4.01/5.19	102/132 4.01/5.19	102/132 4.01/5.19	102/132 4.01/5.19	102/132 4.01/5.19
Displacement	3.2 197	4.3 263	5.4 329	6.5 395	3.2 197	4.3 263	6.5 395	6.5 395
Compression ratio	20	20	20	20	18	18	18	18
Max. rated speed	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500
Mean piston speed	11 36	11 36	11 36	11 36	11 36	11 36	11 36	11 36

Power ratings for construction equipment engines ¹⁾								
Power ratings	kW hp net	44.0 59.0	59.0 79.1	71.7 96.1	89.0 119.3	51.0 68.4	71.7 96.1	110.0 147.5
	kW hp gross	46.2 61.9	61.5 82.5	74.9 100.4	92.2 123.6	53.4 71.6	74.9 100.4	114.9 154.0
At speed	rpm	2500	2500	2500	2500	2300	2500	2500
Mean effective pressure	bar psi	6.53 94.6	6.56 95.0	6.41 92.8	6.60 95.6	8.01 116.0	8.01 116.0	8.16 118.2

Power ratings for engines highly intermittent operation	kW hp net	44.0 59.0	59.0 79.1	71.7 96.1	89.0 119.3	51.0 68.4	71.7 96.1	110.0 147.5
	kW hp gross	46.2 61.9	61.5 82.5	74.9 100.4	92.2 123.6	53.4 71.6	74.9 100.4	114.9 154.0
At speed	rpm	2500	2500	2500	2500	2300	2500	2500
Mean effective pressure	bar	6.53 94.6	6.56 95.0	6.41 92.8	6.60 95.6	8.01 116.0	8.01 116.0	8.16 118.2

Intermittent operation	kW hp net	42.0 56.3	56.0 75.1	70.0 93.9	85.0 114.0	-	71.7 96.1	109.0 146.2
	kW hp gross	44.2 59.3	58.5 78.4	73.2 98.2	88.2 118.3	-	74.9 100.4	113.9 152.7
At speed	rpm	2500	2500	2500	2500	-	2500	2500
Mean effective pressure	bar	6.23 90.2	6.33 91.7	6.23 90.2	6.30 91.3	-	8.01 116.0	8.08 117.0

Max torque	Nm lb-ft	202 149.0	270 199.1	333 245.6	400 295.0	257 189.5	355 264.7	550 403.6
At speed	rpm	1500	1500	1500	1500	1600	1600	1600

Minimum idle speed	rpm	650	650	650	650	650	650	650
--------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Specific fuel consumption ²⁾	g/kWh lb/hp-hr	215 0.348	215 0.348	215 0.348	220 0.356	220 0.356	220 0.356	210 0.340
---	------------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------

Weight to DIN 70020, part 7A ³⁾	kg lb	277 610.7	307 676.8	380 837.7	430 948.0	312 687.8	350 771.6	485 1069.2
--	---------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	--------------

ANEXO A7. ESPECIFICACIONES. DUMPER TEREX PS3000.



TEREX

PS2000 PT2000
PS3000 PT3000

Power Tip / Power Swivel Site Dumpers

PAYLOAD	2000 kg / 3000 kg
GROSS ENGINE POWER	24.5 kW (32.6 hp) / 32.4 kW (43.2 hp)
MAX SKIP CAPACITIES	1440 Litres - 1950 Litres



- Large heaped skip capacities.
- "Rental Tough" designs and fabrications to keep you working in the toughest of conditions.
- Thick steel skip base plate with reinforced box sections for high strength and longevity.
- Exceptional service access and ease of maintenance built into every machine.
- High ground clearance, low centre of gravity for superb stability and site accessibility.
- Powerful, reliable and economical Kubota engines.
- Power Tip (PT) for forwards tip applications. Power Swivel (PS) enables effective placement of load to either side - useful for trench filling or small sites.

Technical Data

	PT2000	PS2000	PT3000	PS3000
Payload (kg)	2000	2000	3000	3000
Unladen Weight (kg)	2050	2320	2260	2550
Skip Capacity - Water (ltr)	900	910	1250	1000
- Struck (ltr)	1320	1080	1600	1500
- Heaped (ltr)	1720	1440	1950	1870
Engine	Kubota D1703M		Kubota V2203M	
- Net Power - kW (hp)	24.5 (32.6)		32.4 (43.2)	
- Capacity	1647 cc		2197 cc	
- Maximum Torque	108 Nm		145 Nm	
Tyre Size	10.0/75x15.3x8ply		11.5/80x15.3x8ply	
Drive	3/1 Manual - permanent 4WD			
Max Travel Speed - mph (kph)	12.4 (20.0)	12.4 (20.0)	11.8 (19.0)	11.8 (19.0)
Gradeability	25 %	25 %	25 %	25 %
Fuel Tank Capacity	37 Litres	37 Litres	37 Litres	37 Litres
Hydraulic Tank Capacity	37 Litres	37 Litres	37 Litres	37 Litres

ANEXO A8. ESPECIFICACIONES. MOTOR KUBOTA V2203M.

V2203-M-E3B

KUBOTA 03-M SERIES

GENERAL SPECIFICATION

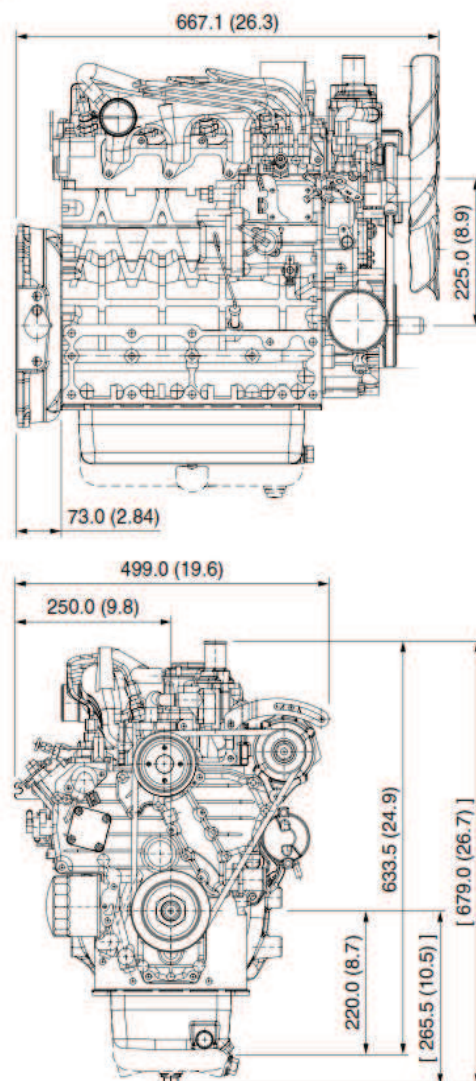
Model		V2203-M-E3B
Emission Regulation		Interim Tier 4 / Stage III A
Type		Vertical 4-cycle Liquid Cooled Diesel
Number of Cylinders		4
Bore	mm (In)	87 (3.43)
Stroke	mm (In)	92.4 (3.64)
Displacement	L (cu.In)	2.197 (134.1)
Combustion System		IDI
Intake System		Naturally Aspirated
Maximum Speed	rpm	2800
Output: Gross Intermittent	kW	35.9
	hp	48.1
	ps	48.8
Direction of Rotation		Counterclockwise Viewed on Flywheel
Oil Pan Capacity	L (gal)	7.6 (2.01) [US] / 9.5 (2.51) [EU]
Starter Capacity	V-kW	12-1.4
Alternator Capacity	V-A	12-40
Length	mm (In)	667.1 (26.3)
Width	mm (In)	499.0 (19.6)
Height (1)	mm (In)	633.5 (24.9) [US] / 679.0 (26.7) [EU]
Height (2)	mm (In)	220.0 (8.7) [US] / 265.5 (10.5) [EU]
Dry Weight	kg (lb)	180.0 (396.9)

*Specification is subject to change without notice.

*Output: Gross Intermittent SAE J1995

*Dry weight is according to Kubota's standard specification.
When specification varies, the weight will vary accordingly.

DIMENSIONS



Kubota

Your Driving Force
KUBOTA ENGINE

ANEXO A9. ESPECIFICACIONES. COMPRESOR DOOSAN XP375WCU.

High performance air compressors

These 125 hp, Tier 2, certified, diesel-powered Ingersoll Rand air compressors were engineered specifically with the end-user in mind. The simple-to-service Cummins engine, combined with our toughest airends, provide maximum efficiency in a wide range of temperatures and altitudes. Large, full-length, heavy-gauge sheet metal doors provide unparalleled access to the clean layout of all internal systems.

PERFORMANCE FEATURES

- Automatic shutdown protection, mechanical air filter maintenance indicators, and lights for oil pressure, air and coolant temperature, and low fuel
- Durable polyethylene fenders will not bend or break
- Electric brakes with towing lights, side markers, and reflectors
- External, single-point lifting bail for easy hoisting
- Heavy-duty A-frame drawbar with adjustable pintle eye, 15" tires, and zinc-plated chains provide easy hook-up to vehicle and stability while towing
- Lockable side doors with pneumatic lift springs
- Rear access panels provide quick access to heat exchangers for cleaning
- Single, E-Z lube axle running gear with rugged leaf springs provides a smooth ride while protecting internal components
- Standard rear bumper and heavy-duty screw jack protect the enclosure and simplify vehicle hook-up
- Transparent, plastic fuel tank will not corrode or sag

AVAILABLE OPTIONS (FACTORY INSTALLED)

- 4-in-1 gauge for engine temperature, volt meter, engine oil pressure, and discharge air temperature
- 100' single or 100' double hose reels, with or without hose or OSHA valves
- Adjustable 2" ball hitch
- Aftercooler with water separator (not available on P425WCU)
- Battery heater
- Diagnostic panel
- Dual pressure regulation (not available on P425WCU)
- Engine block heater
- Entire enclosure constructed of galvanneal sheet metal
- Extended length drawbar
- Full gauge panel
- Key-lock doors or keyed ignition
- Less running gear with central drains
- Parking brake
- Pivoting lifting bail for greater security
- Pneumatic third wheel attached to drawbar in addition to standard screw jack with padfoot
- Tachometer
- Three 3/4" NPT discharge valves in addition to standard 1-1/4" valve

MODEL	XP375WCU	HP375WCU	P425WCU
COMPRESSOR — ROTARY SCREW / SINGLE-STAGE			
Free Air Delivery — cfm (m³/min)	375 (10.6)	375 (10.6)	425 (12)
Rated Operating Pressure — psig (bar)	125 (8.6)	150 (10.3)	100 (6.9)
Pressure Range — psig (bar)	80 – 150 (5.5 – 10.3)	80 – 175 (5.5 – 12.1)	80 – 125 (5.5 – 8.6)
Air Discharge Outlet Size NPT — in (mm)	1.25 (31.8)	1.25 (31.8)	1.25 (31.8)
Air Discharge Outlet Quantity	1	1	1
ENGINE — TIER 2			
Make	Cummins	Cummins	Cummins
Model	4B3.9TAA	4B3.9TAA	4B3.9TAA
Number of Cylinders	4	4	4
Displacement — cu in (L)	283 (4.6)	283 (4.6)	283 (4.6)
Rated Speed — rpm	2,200	2,200	2,200
Idle Speed — rpm	1,500	1,500	1,500
bhp @ Rated Speed	125	125	125
Electrical	12 V	12 V	12 V
Engine Oil Capacity — gal (L)	2.5 (9.5)	2.5 (9.5)	2.5 (9.5)
Radiator Coolant Capacity — gal (L)	4.5 (17)	4.5 (17)	4.5 (17)
Fuel Tank Capacity — gal (L)	60 (227.1)	60 (227.1)	60 (227.1)
DIMENSIONS W/ RUNNING GEAR			
Length — in (mm)	158.5 (4026)	158.5 (4026)	158.5 (4026)
Width — in (mm)	78.1 (1985)	78.1 (1985)	78.1 (1985)
Height — in (mm); Add 5" (127 mm) for lift bail	68 (1726)	68 (1726)	68 (1726)
Track Width — in (mm)	66.2 (1681)	66.2 (1681)	66.2 (1681)
Shipping Weight — No Fuel — lb (kg)	3,959 (1795)	3,959 (1795)	3,959 (1795)
Working Weight — w/ Fuel — lb (kg)	4,361 (1978)	4,361 (1978)	4,361 (1978)
DIMENSIONS W/O RUNNING GEAR			
Length — in (mm); Add 6 – 8" (152 – 203 mm) for service valve	104 (2642)	104 (2642)	104 (2642)
Width — in (mm)	60 (1524)	60 (1524)	60 (1524)
Height — in (mm); Add 5" (127 mm) for lift bail	56.8 (1443)	56.8 (1443)	56.8 (1443)
Shipping Weight — No Fuel — lb (kg)	3,647 (1654)	3,647 (1654)	3,647 (1654)
Working Weight — w/ Fuel — lb (kg)	4,049 (1836)	4,049 (1836)	4,049 (1836)

Product improvement is a continuing goal at Portable Power. Designs and specifications are subject to change without notice or obligation.

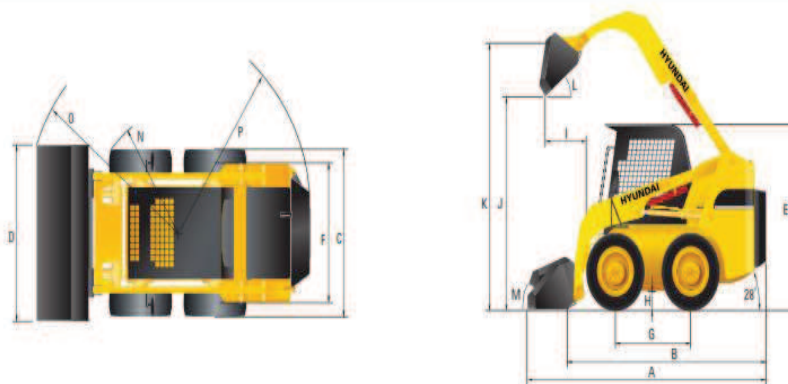
Ingersoll Rand air compressors are not designed, intended, or approved for breathing air. Compressed air should not be used for breathing air applications under any circumstances.

Nothing contained in this brochure is intended to extend any warranty or representation, expressed or implied, regarding the products described herein. Any such warranties or other terms and conditions of sale shall be in accordance with standard Portable Power terms and conditions of sale for such products, which are available upon request.



ANEXO A10. ESPECIFICACIONES. MINICARGADORA HYUNDAI MSL850.

Dimension



Specification

DESCRIPTION		UNIT	HSL650-7A	HSL850-7A
Rated operating capacity		kg (lb)	650 (1,433)	860 (1,892)
Tipping load		kg (lb)	1,310 (2,888)	1,718 (3,780)
Operating weight		kg (lb)	2,690 (5,927)	3,355 (7,381)
ENGINE	Model	-	Kubota V2403	Kubota V3307-T
	Gross output	kW (PS)	35.5 (48.3)	55.4 (75.3)
	Net output	kW (PS)	34.3 (46.6)	53.5 (72.7)
	Rated speed	rpm	2,500	2,400
	Cooling	-	Water	Water
GENERAL	Steering controls	-	Hyd. Joystick Lever	Hyd. Joystick Lever
	Loader controls	-	Hyd. Joystick Lever	Hyd. Joystick Lever
	Tires-standard	-	10-16.5, 6PR	12-16.5, 12PR
	Max. travel speed	km/h (mph)	11.5 (7.1)	11.4 (7.1)
HYDRAULICS	Loader pump flow	l/min (gpm)	66.3 (17.5)	63.9 (16.9)
	Loader pressure	kg/cm ² (psi)	175 (2,489)	175 (2,489)
DIMENSIONS	Length with bucket	A	3,270 (128.7)	3,470 (136.6)
	Width, less bucket	C	1,515 (59.6)	1,830 (72.0)
	Height to cap top	E	1,965 (77.4)	2,000 (78.7)
	Tread	F	1,255 (49.4)	1,500 (59.1)
	Wheelbase	G	990 (39.0)	1,100 (43.3)
	Length, less bucket	B	2,625 (103.3)	2,840 (111.8)
	Ground clearance	H	183 (7.2)	205 (8.1)
	Turn radius, bucket	O	1,935 (76.2)	2,080 (81.9)
	Turn radius, front tire	N	1,260 (49.6)	1,300 (51.2)
	Turn radius, rear and corner	P	1,560 (61.4)	1,660 (65.4)
	Rear departure angle	-	28°	28°
	Height to bucket pivot pin	K	2,915 (114.8)	3,080 (121.3)
	Max. dump height	J	2,240 (88.2)	2,410 (94.9)
	Dump angle	L	45°	45°
	Reach at max. dump	I	550 (21.7)	510 (20.1)
	Rollback at ground	M	27°	27°
	Bucket width	D	1,625 (64.0)	1,894 (74.6)
	Bucket cap, heaped	m ³ (ft ³)	0.31 (10.9)	0.37 (13.1)
	Fuel capacity	l (gal)	60 (16)	83 (22)
	Hyd reservoir capacity	l (gal)	38 (10)	57 (15)

Standard Equipment

Hand throttle lever
Direct cooling system
Dual element aircleaner
Aux. piping (3-spool)
Joystick control system
Bow tie drive chain
Console
Mold dashboard
Canopy (ROPS/FOPS)
Room mirror
Vandalism protection
Spark arresting muffler (HSL850-7A)
Seat bar & seat belt

Optional Equipment

Pre-cleaner
Self-leveling system
Master switch
Backup alarm
Enclosed cab (ROPS/FOPS)
Heater
Air-con & heater
Defroster
Fenders
Side mirrors
Turn lamp
Beacon Light
Highflow system

* Standard and optional equipment may vary.
Contact your Hyundai dealer for more information.
The machine may vary according to International standards.
* The photos may include attachments and optional equipment that are not available in your area.
* Materials and specifications are subject to change without advance notice.
* All imperial measurements rounded off to the nearest pound or inch.

ANEXO A11. ESPECIFICACIONES. MOTOR KUBOTA V3307-T.

V3307-DI-T-E3B

KUBOTA 07 SERIES

GENERAL SPECIFICATION

Model		V3307-DI-T-E3B
Emission Regulation		Interim Tier 4 / Stage III A
Type		Vertical 4-cycle Liquid Cooled Diesel
Number of Cylinders		4
Bore	mm (In)	94 (3.70)
Stroke	mm (In)	120 (4.72)
Displacement	L (cu.in)	3.331 (203.3)
Combustion System		DI
Intake System		Turbocharged
Maximum Speed	rpm	2600
Output: Gross Intermittent	kW	55.4
	hp	74.3
	ps	75.3
Direction of Rotation		Counterclockwise Viewed on Flywheel
Oil Pan Capacity	L (gal)	11.0 (2.91)
Starter Capacity	V-kW	12-3.0
Alternator Capacity	V-A	12-45
Length	mm (In)	674.0 (26.54)
Width	mm (In)	506.0 (19.92)
Height (1)	mm (In)	739.0 (29.09)
Height (2)	mm (In)	226.5 (8.92)
Dry Weight	kg (lb)	268 (590.8)

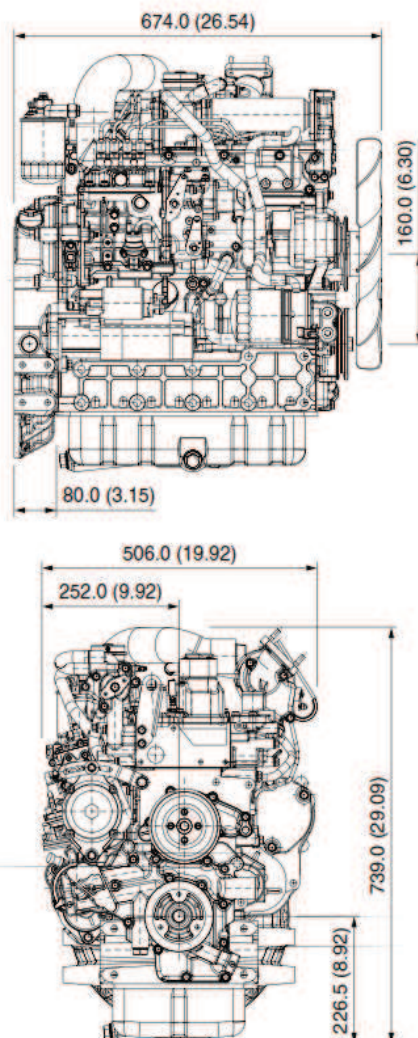
*Specification is subject to change without notice.

*Output: Gross Intermittent SAE J1995

*Dry weight is according to Kubota's standard specification.

When specification varies, the weight will vary accordingly.

DIMENSIONS



Kubota

Your Driving Force
KUBOTA ENGINE

ANEXO B1. LIMITES URSA PREMIUM TDX SAE 15W40.



URSA[®] PREMIUM TDX PLUS SAE 15W-40

DESCRIPCIÓN DE PRODUCTO

El producto Urso[®] Premium TDX Plus SAE 15W-40 es un aceite multigrado para motores a Diesel de muy alto rendimiento (super high performance diesel - SHPD). Está formulado con la Tecnología ISOSYN[®] y especialmente diseñado para uso en motores turbo alimentados. La Tecnología ISOSYN es una combinación de aceites base superiores y aditivos de alto desempeño con la experiencia en formulación de Chevron que proporciona una magnífica protección para las partes de los motores a Diesel, todo a un valor excepcional. La Tecnología ISOSYN beneficia a los clientes porque ayuda a:

- Proporcionar protección prolongada entre mantenimientos
- Maximizar la durabilidad del motor
- Minimizar los costos de operación

BENEFICIOS PARA EL CLIENTE

El Urso Premium TDX Plus SAE 15W-40 proporciona:

- **Menores costos de operación** — Excepcional dispersión de hollín y control de desgaste ofrecen capacidad de servicio prolongada y ayudan a proteger los cilindros, pistones, anillos y componentes del tren de válvulas, y contribuyen a una máxima utilización del vehículo y tiempo mínimo de mantenimiento.
- **Limpeza excepcional del motor** — La alta detergencia ayuda a evitar depósitos en el área de los anillos del pistón manteniendo el consumo de aceite al mínimo.
- **Larga vida al motor** — control de depósitos y desgaste que ayudan a reducir los paros por reparaciones del motor.

- **Costos de inventario** — El aceite Urso Premium TDX Plus SAE 15W-40 es compatible con las Categorías de Servicio anteriores de API. Adecuado para uso en motores a gasolina donde desempeño API 5L y SAE 15W-40 grado de viscosidad son aceptables y en naturalmente aspirados o turbo cargados controlados electrónicamente motores a diesel. Un aceite que satisface los requerimientos de desempeño de muchas de los fabricantes de motores norteamericanos y europeos. Un aceite que permite a los usuarios disfrutar de un inventario simplificado y sistemas de desecho que ayudan a ahorrar dinero, espacio y tiempo de manejo.

CARACTERÍSTICAS

El Urso Premium TDX Plus SAE 15W-40 está formulado con una avanzada tecnología de aditivos que brinda una protección sobresaliente. Tiene una mezcla óptima de las tecnologías de aditivos de dispersantes, detergentes, inhibidores de oxidación, anti desgaste, inhibidores de corrosión, mejoradores de viscosidad y agentes antiespuma.

ISOSYN[®]
TECHNOLOGY

FUNCIONES

El aceite Urso Premium TDX Plus SAE 15W-40 ayuda a mantener los anillos de pistón limpios y libres para una óptima presión y un desgaste mínimo. El aceite Urso Premium TDX Plus SAE 15W-40 minimiza los depósitos en las válvulas y coronas de pistones, reduciendo así el consumo de aceite. Su alto nivel de detergentes y de dispersantes sin ceniza mantiene el hollín del combustible en suspensión y ayuda a evitar que se tapen los filtros, a disminuir el desgaste por los abrasivos y mantener una adecuada viscosidad. Estos problemas podrían causar un desgaste excesivo del motor y fallas en los rodamientos, sin aviso previo para el operador.

Producto(s) manufacturado(s) en Colombia y El Salvador.

Confirme siempre que el producto seleccionado es consistente con las recomendaciones del fabricante del equipo respecto a sus condiciones de operación y las prácticas de mantenimiento del cliente.

Un producto de la empresa **Chevron**

8 noviembre 2014
HOMO-5300e

© 2013-2014 Chevron U.S.A. Inc. Todos los derechos reservados.

Chevron, el logotipo Chevron, Urso, ISOSYN y el logotipo de ISOSYN son marcas registradas propiedad de Chevron Intellectual Property LLC. Todas las otras marcas registradas son propiedad de sus respectivos dueños.

Los aditivos controlan la oxidación entre los drenados de aceite. Las tecnologías antidesgaste protegen contra el desgaste del tren de la válvula y rayadura de las partes que se encuentran sometidas a altas cargas operando bajo condiciones de lubricación limitada. Un aditivo antiespumante ayuda a evitar que el aire quede atrapado.

APLICACIONES

El Ursa® Premium TDX Plus SAE 15W-40 se recomienda para motores a Diesel de cuatro tiempos con aspiración natural o turboalimentados de vehículos de transporte que operan en todo tipo de servicio.

Es ideal para equipo pesado de construcción, minería, marítimos, equipos agrícolas, motores estacionarios y otras aplicaciones de servicio severo.

También puede ser usado en motores a gasolina de flotas mixtas donde desempeño API SL y SAE 15W-40 grado de viscosidad se especifican.

El Ursa Premium TDX Plus SAE 15W-40 es aprobado:

- **Categorías de Servicio API** CI-4 Plus, CI-4, CH-4, SL
- **Requerimientos de fabricantes**
 - Cummins CES 20078
 - Daimler MB 228.3
 - Detroit 93K214
 - Mack EO-N
 - MAN M 3275-1
 - MTU Categoría 2
 - Renault VI RLD-2
 - Volvo VDS-3

El Ursa Premium TDX Plus SAE 15W-40 satisface los requerimientos de:

- **Secuencias Europeas ACEA** E7-12
- **Requerimientos de fabricantes**
 - Caterpillar ECF-2

MANEJO

Para información sobre seguridad en el manejo del producto, consulte la hoja de seguridad o contacte a su representante de ventas.

INFORMACIÓN DE PRUEBAS TÍPICAS

Grado SAE	Método ASTM	15W-40
Numero de Producto	—	219387
Numero MSDS	—	
Colombia		33378
El Salvador		33377
Densidad @ 15°C, Kg/L	D4052	0,862
Viscosidad cinemática		
cSt @ 40°C	D445	114,7
cSt @ 100°C	D445	15,20
Viscosidad a baja temperatura (CCS), -20°C, cP	D5293	5890
Índice de viscosidad	D2270	138
Punto de inflamación, °C	D92	230
Punto de fluidez, °C	D97	-27
Numero base total(TBN), mg KOH/g,	D2696	11,02

Pueden esperarse variaciones menores en la información de pruebas típicas en fabricación normal.

Confirme siempre que el producto seleccionado es consistente con las recomendaciones del fabricante del equipo respecto a sus condiciones de operación y las prácticas de mantenimiento del cliente.

6 noviembre 2014
HOMO-3300s



LÍMITE CONDENATORIO PARA ACEITE DE MOTOR DIESEL

PRODUCTO	VISCOSIDAD ORIGINAL Cst a 100°C	VISC. Cst 100°C		TBN	% AGUA	%COMB.	METALES DE DESGASTE MÁXIMO ppm							
		CONDENA RANGO	ORIGINAL/ CONDENA				Fe	Cu	Pb	Al	Cr	Sn	Si	
URSA PREMIUM TDX 15W40	14.8	12.5	16.3	9.5/4.8	>0.2%	1-2/>2%	100	50	50	40	30	40	40	

ANEXO B2. VALORES CONDENATORIOS DE METALES ADOPTADAS POR LAS CASAS FABRICANTES DEL MOTOR.

Tabla 6.1. Resumen de valores condenatorios de concentraciones metálicas en el aceite según diversos fabricantes. (Fuentes: National Tribology Services, Fabricantes). Los valores están expresados en partes por millón (ppm).

Elemento	CAT	Cummins	Detroit Diesel	Jenbacher	MAN	GM
Hierro (Fe)	100	84	150	50	125	125
Cobre (Cu)	45	20	90	20	40	150
Plomo (Pb)	100	100	--	70	25	75
Aluminio (Al)	15	15	--	15	10	5
Cromo (Cr)	15	15	--	5	20	20
Estaño (Sn)	20	20	--	10	30	40
Sodio (Na)	40	20	50	8	--	--
Boro (B)	20	25	20	--	--	20
Silicio (Si)	10	15	--	20	15	10
Zinc (Zn)	--	--	--	--	--	10
Plata (Ag)	--	--	--	--	--	2

FIGURA B2. Valores condenatorios de concentraciones de metales adoptadas por las casas fabricantes de motores.

FUENTE: PAYRI F.;DESANTES J. (2011). *Motores de combustión Interna Alternativos*. Reverte S.A, Barcelona.

ANEXO B3. PROPUESTA DE LIMITES CRITICOS PARA ANALISIS DE ACEITE CON ENFOQUE PRODUCTIVO. WIDMAN SLR INTERNATIONAL.

Tabla 2	Normal
Fe Hierro (Iron)	<100 ppm
Pb Plomo (Lead)	<30 ppm
Cu Cobre (Copper)	<30 ppm
CR Cromo (Chromium)	<10 ppm
Al Aluminio (Aluminum)	<20 ppm
Ni Níquel (Nickel)	<10 ppm
Ag Plata (Silver)	<3 ppm
Sn Estaño (Tin)	<20 ppm
Na Sodio (Sodium)	<50 ppm
Si Silicio (Silicon)	<20 ppm
Dilución por combustible (Fuel)	<2%
Hollín (Soot)	<2%

TABLA B3. Propuesta de límites críticos para un análisis proactivo.

FUENTE: WIDMAN R. (2007). Interpretando el análisis de aceite.
WIDMAN INTERNATIONAL SLR. Boletín 47. [Online] Recuperado de
<http://www.widman.biz/boletines/46.html>

ANEXO B4. PRIMER ANÁLISIS DE ACEITE 13/08/2014.

swissoil.		
REPORTE DE ANALISIS DE LABORATORIO		
LABORATORIO NUMERO	3530	3531
NOMBRE DEL LUBRICANTE:	UPTIX 15W40	UPTIX 15W40
NOMBRE DEL CLIENTE	COANDES CIA LTDA.	COANDES CIA LTDA.
REQUERIDO POR:	CONAUTO QUITO	CONAUTO QUITO
REFERENCIA	OF.-228 DS	OF.-228 DS
NUMERO DE MUESTRA:	1	2
FECHA DE OBTENCIÓN:	20-JUL-14	20-JUL-14
FECHA DE RECEPCIÓN:	13-AGO-14	13-AGO-14
FECHA DE ENTREGA:	15-AGO-14	15-AGO-14
PROCEDENCIA:	DUMPER 3000AR	MINI HYUNDAI
	Z3289	
TIEMPO/KM DE SERVICIO: HR	250	250
HORÓMETRO/KM TOTAL: HR	2530	1304
APARIENCIA	NEGRO	NEGRO
AGUA POR CREPITACIÓN	NEGATIVO	NEGATIVO
VISCOSIDAD A 40°C CST,ASTM 445		
VISCOSIDAD A 100°C CST,ASTM 445	17.78	12.97
TBN , ASTM D-2896		
METALES DE DESGASTE, ASTM D-6595		
METAL DE DESGASTE CROMO, Cr, ppm	5	5
METAL DE DESGASTE NIQUEL, Ni, ppm	1	3
METAL DE DESGASTE COBRE, Cu, ppm	3	49
METAL DE DESGASTE ESTAÑO, Sn, ppm	0	0
METAL DE DESGASTE ALUMINO, Al, ppm	14	13
METAL DE DESGASTE PLOMO, Pb, ppm	1	1
METAL DE DESGASTE HIERRO, Fe, ppm	87	155
METAL DE DESGASTE, Si, ppm	11	14
COMENTARIOS		
	3530	Atención viscosidad alta. El aceite no está apto para continuar en servicio.
	3531	Atención concentración de Hierro (Fe) fuera del límite máximo permisible. El aceite no está apto para continuar al servicio.

ANEXO B5. SEGUNDO ANÁLISIS DE ACEITE 05/09/2014.

			
REPORT DE ANALISIS DE LABORATORIO			
LABORATORIO NUMERO:	3776	3777	3778
NOMBRE DEL LUBRICANTE:	LIFTEX 15W40	LIFTEX 15W40	LIFTEX 15W40
NOMBRE DEL CLIENTE:	COANDES	COANDES	COANDES
REQUERIDO POR:	CONAUTO QUITO	CONAUTO QUITO	CONAUTO QUITO
REFERENCIA:	OF.-245 DS	OF.-245 DS	OF.-245 DS
NUMERO DE MUESTRA:	1	2	3
FECHA DE OBTENCIÓN:	25-AGO-14	25-AGO-14	25-AGO-14
FECHA DE RECEPCIÓN:	02-SEP-14	02-SEP-14	02-SEP-14
FECHA DE ENTREGA:	05-SEP-14	05-SEP-14	05-SEP-14
PROCEDENCIA:	FAVISHO	COMPRESOR	DOOMPER
	SCOUT	DOOSAN	
TIEMPO/KM DE SERVICIO: HR	285	250	250
HORÓMETRO/KM TOTAL: HR	385	3719	2644
APARIENCIA	NEGRO	NEGRO	NEGRO
AGUA POR CREPITACIÓN	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO
VISCOSIDAD A 40°C CST,ASTM 445			
VISCOSIDAD A 100°C CST,ASTM 445	16.03	15.21	15.51
TBN , ASTM D-2896	8.60	8.64	8.39
METALES DE DESGASTE, ASTM D-6595			
METAL DE DESGASTE CROMO, Cr, ppm	14	9	3
METAL DE DESGASTE NIQUEL, Ni, ppm	0	0	0
METAL DE DESGASTE COBRE, Cu, ppm	5	3	1
METAL DE DESGASTE ESTANO, Sn, ppm	0	0	0
METAL DE DESGASTE ALUMINO, Al, ppm	22	5	10
METAL DE DESGASTE PLOMO, Pb, ppm	5	1	1
METAL DE DESGASTE HIERRO, Fe, ppm	95	32	47
ELEMENTO SILICIO, Si, ppm	44	16	7
COMENTARIOS			
	3776	Atención concentración de Silicio (Si) fuera del límite máximo permisible. El aceite no está apto para continuar al servicio.	
	3777	Los resultados obtenidos en la muestra de la referencia son satisfactorios. Sugerimos seguir las instrucciones del fabricante del equipo respecto a los intervalos de cambio. El aceite si está apto para continuar en servicio.	
	3778	Los resultados obtenidos en la muestra de la referencia son satisfactorios. Sugerimos seguir las instrucciones del fabricante del equipo respecto a los intervalos de cambio. El aceite si está apto para continuar en servicio.	

ANEXO B6. TERCER ANÁLISIS DE ACEITE 28/10/2014



REPORTE DE ANALISIS DE LABORATORIO

LABORATORIO NUMERO	4535	4536	4537
NOMBRE DEL LUBRICANTE:	UPTDX 15W40	UPTDX 15W40	UPTDX 15W40
NOMBRE DEL CLIENTE	COANDES	COANDES	COANDES
REQUERIDO POR:	CONAUTO QUITO	CONAUTO QUITO	CONAUTO QUITO
REFERENCIA	310 JS	310 JS	310 JS
NUMERO DE MUESTRA:	1	2	3
FECHA DE OBTENCIÓN:	29/09/2014	15/10/2014	08/10/2014
FECHA DE RECEPCIÓN:	27/10/2014	27/10/2014	27/10/2014
FECHA DE ENTREGA:	28/10/2014	28/10/2014	28/10/2014
PROCEDENCIA:	FAVISHO SCOUT	COMPRESOR DOOSAN	DOOMPER
TIEMPO DE SERVICIO: HR	250	250	250
HORÓMETRO TOTAL: HR	600	3892	2855
APARIENCIA	NEGRO	NEGRO	NEGRO
AGUA POR CREPITACIÓN	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO
VISCOSIDAD A 40°C CST,ASTM 445			
VISCOSIDAD A 100°C CST,ASTM 445	15.03	33.41	15.89
TBN , ASTM D-2896	8.96	5.43	8.97
OXIDACION POR FTIR	11.41	12.06	15.44
SULFATACION POR FTIR	18.94	46.75	20.92
NITRACION POR FTIR	0.004	0.119	0
METALES DE DESGASTE, ASTM D-6595			
METAL DE DESGASTE CROMO, Cr, ppm	4	17	3
METAL DE DESGASTE NIQUEL, Ni, ppm	0	1	0
METAL DE DESGASTE COBRE, Cu, ppm	3	6	2
METAL DE DESGASTE ESTAÑO, Sn, ppm	0	0	0
METAL DE DESGASTE ALUMINO, Al, ppm	7	10	11
METAL DE DESGASTE PLOMO, Pb, ppm	2	3	1
METAL DE DESGASTE HIERRO, Fe, ppm	30	62	53
ELEMENTO SILICIO, Si, ppm	16	12	8
COMENTARIOS			
✓ OK	4535	Los resultados obtenidos en la muestra de la referencia son satisfactorios. Sugerimos seguir las instrucciones del fabricante del equipo respecto a los intervalos de cambio. El aceite si está apto para continuar en servicio.	
✗	4536	Atención viscosidad alta. El aceite no está apto para continuar en servicio.	
✓ OK	4537	Los resultados obtenidos en la muestra de la referencia son satisfactorios. Sugerimos seguir las instrucciones del fabricante del equipo respecto a los intervalos de cambio. El aceite si está apto para continuar en servicio.	

ANEXO B7. CUARTO ANÁLISIS DE ACEITE 10/12/2014.

		
REPORTE DE ANALISIS DE LABORATORIO		
LABORATORIO NUMERO	5075	5076
NOMBRE DEL LUBRICANTE:	LPTX 15W40	LPTX 15W40
NOMBRE DEL CLIENTE	COANDES	COANDES
REQUERIDO POR:	CONAUTO QUITO	CONAUTO QUITO
REFERENCIA	OF.-341 JC	OF.-341 JC
NUMERO DE MUESTRA:	3	4
FECHA DE OBTENCIÓN:	03-12-14	03-12-14
FECHA DE RECEPCIÓN:	04-12-14	04-12-14
FECHA DE ENTREGA:	10-12-14	10-12-14
PROCEDENCIA:	MINI CAT 218	MINI HYUNADAI 971
TIEMPO/KM DE SERVICIO: HR	250	250
HOROMETRO/KM TOTAL: HR	-	-
APARIENCIA	NEGRO	NEGRO
AGUA POR CREPITACIÓN	NEGATIVO	NEGATIVO
VISCOSIDAD A 40°C CST,ASTM 445		
VISCOSIDAD A 100°C CST,ASTM 445	13.50	13.59
TBN , ASTM D-2896	7.84	7.95
OXIDACIÓN, ASTM E-2412	12.88	12.92
SULFATACIÓN, ASTM E-2412	20.82	20.79
NITRACIÓN, ASTM E-2412	0	0
METALES DE DESGASTE, ASTM D-6595		
METAL DE DESGASTE CROMO, Cr, ppm	1	1
METAL DE DESGASTE NIQUEL, Ni, ppm	1	1
METAL DE DESGASTE COBRE, Cu, ppm	5	5
METAL DE DESGASTE ESTANO, Sn, ppm	0	0
METAL DE DESGASTE ALUMINO, Al, ppm	5	5
METAL DE DESGASTE PLOMO, Pb, ppm	0	1
METAL DE DESGASTE HIERRO, Fe, ppm	43	45
METAL DE DESGASTE, Si, ppm	5	6
COMENTARIOS		
✓ OK	5075	Los resultados obtenidos en la muestra de la referencia son satisfactorios. Sugerimos seguir las instrucciones del fabricante del equipo respecto a los intervalos de cambio. El aceite si está apto para continuar en servicio.
✓ OK	5076	Los resultados obtenidos en la muestra de la referencia son satisfactorios. Sugerimos seguir las instrucciones del fabricante del equipo respecto a los intervalos de cambio. El aceite si está apto para continuar en servicio.



REPORTE DE ANALISIS DE LABORATORIO

LABORATORIO NUMERO	5073	5074
NOMBRE DEL LUBRICANTE:	OPTILUB	OPTILUB
NOMBRE DEL CLIENTE	COANDES	COANDES
REQUERIDO POR:	CONAUTO QUITO	CONAUTO QUITO
REFERENCIA	OF-341 JC	OF-341 JC
NUMERO DE MUESTRA:	1	2
FECHA DE OBTENCION:	03-12-14	03-12-14
FECHA DE RECEPCION:	04-12-14	04-12-14
FECHA DE ENTREGA:	10-12-14	10-12-14
PROCEDENCIA:	DUMPER TEREX 134	CARGADORA DE TONEL 001
TIEMPO/KM DE SERVICIO: HR	250	250
HOROMETRO/KM TOTAL: HR	-	-
APARIENCIA	NEGRO	NEGRO
AGUA POR CREPITACION	NEGATIVO	NEGATIVO
VISCOSIDAD A 40°C CST,ASTM 445		
VISCOSIDAD A 100°C CST,ASTM 445	15.08	18.15
TBN , ASTM D-2896	8.86	9.39
OXIDACION, ASTM E-2412	14.68	12.90
SULFATACION, ASTM E-2412	20.53	20.84
NITRACION, ASTM E-2412	0	0
METALES DE DESGASTE, ASTM D-6595		
METAL DE DESGASTE CROMO, Cr, ppm	4	12
METAL DE DESGASTE NIQUEL, Ni, ppm	0	1
METAL DE DESGASTE COBRE, Cu, ppm	2	10
METAL DE DESGASTE ESTAÑO, Sn, ppm	0	0
METAL DE DESGASTE ALUMINO, Al, ppm	10	16
METAL DE DESGASTE PLOMO, Pb, ppm	1	6
METAL DE DESGASTE HIERRO, Fe, ppm	38	92
METAL DE DESGASTE, Si, ppm	29	50
COMENTARIOS		
✓ OK	5073	Los resultados obtenidos en la muestra de la referencia son satisfactorios. Sugerimos seguir las instrucciones del fabricante del equipo respecto a los intervalos de cambio. El aceite si está apto para continuar en servicio.
✗	5074	Atención viscosidad alta. Adicional se obseva una elevada concentración de Silicio (Si). El aceite correspondiente no está apto para continuar en servicio.

ANEXO B8. QUINTO ANÁLISIS DE ACEITE 05/02/2015.

swissoil.			
REPORTE DE ANALISIS DE LABORATORIO			
LABORATORIO NUMERO	491	492	493
NOMBRE DEL LUBRICANTE:	LPTDX 12W40	LPTDX 12W40	LPTDX 12W40
NOMBRE DEL CLIENTE	COANDES	COANDES	COANDES
REQUERIDO POR:	CONAUTO QUITO	CONAUTO QUITO	CONAUTO QUITO
REFERENCIA	OF. 031	OF. 031	OF. 031
NUMERO DE MUESTRA:	1	2	3
FECHA DE OBTENCION:	14/01/2015	14/01/2015	14/01/2015
FECHA DE RECEPCION:	04/02/2015	04/02/2015	04/02/2015
FECHA DE ENTREGA:	05/02/2015	05/02/2015	05/02/2015
PROCEDENCIA:	COMPRESOR DOOSAN	SCOOP	MINI CAT 216
TIEMPO DE SERVICIO: HR	250	250	250
HOROMETRO TOTAL: HR	-	-	-
APARIENCIA	NEGRO	NEGRO	NEGRO
AGUA POR CREPITACION	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO
VISCOSIDAD A 100°C CST.ASTM 445	14.96	16.08	14.91
TBN , ASTM D-2896	8.39	8.76	8.65
METALES DE DESGASTE, ASTM D-6595			
METAL DE DESGASTE CROMO, Cr, ppm	3	5	3
METAL DE DESGASTE NIQUEL, Ni, ppm	1	0	1
METAL DE DESGASTE COBRE, Cu, ppm	5	4	5
METAL DE DESGASTE ESTANO, Sn, ppm	0	0	0
METAL DE DESGASTE ALUMINO, Al, ppm	10	12	11
METAL DE DESGASTE PLOMO, Pb, ppm	3	2	3
METAL DE DESGASTE HIERRO, Fe, ppm	59	57	59
ELEMENTO SILICIO, Si, ppm	37	28	38
COMENTARIOS			
✓ OK	491	Los resultados obtenidos en la muestra de la referencia son satisfactorios. Sugerimos seguir las instrucciones del fabricante del equipo respecto a los intervalos de cambio. El aceite si está apto para continuar en servicio.	
✓ OK	492	Los resultados obtenidos en la muestra de la referencia son satisfactorios. Sugerimos seguir las instrucciones del fabricante del equipo respecto a los intervalos de cambio. El aceite si está apto para continuar en servicio.	
✓ OK	493	Los resultados obtenidos en la muestra de la referencia son satisfactorios. Sugerimos seguir las instrucciones del fabricante del equipo respecto a los intervalos de cambio. El aceite si está apto para continuar en servicio.	

ANEXO C1. GUÍA DE INSTALACIÓN DEL PROGRAMA ANÁLISIS DE ACEITE.

Primero se debe guardar la carpeta que contiene todos los archivos, ficheros de instalación y todos los materiales necesarios para la correcta instalación del programa. Al abrir dicha carpeta, que en este caso llevara el nombre de INSTALADOR, se va a encontrar los siguientes archivos.

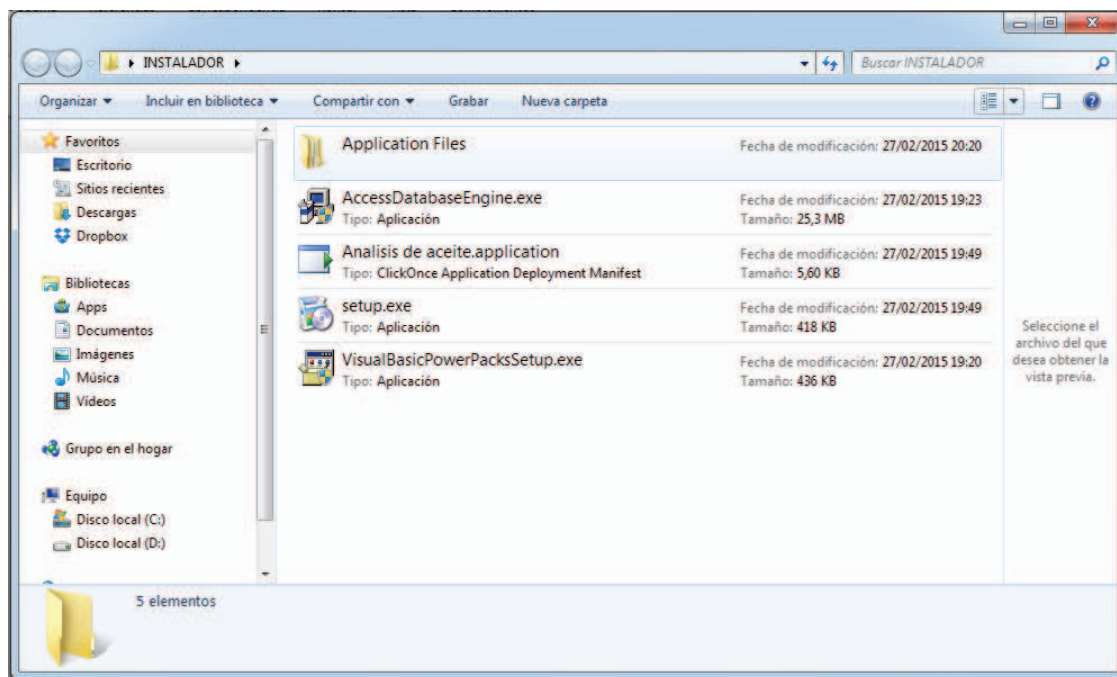


FIGURA C1. 1. Archivos de la carpeta INSTALADOR. Fuente Autor.

Una vez abierta la carpeta accedemos al archivo *VisualBasicPowerPacksSetup.exe*, se acepta los cambios que se realicen en el equipo y se tendrá la siguiente ventana.

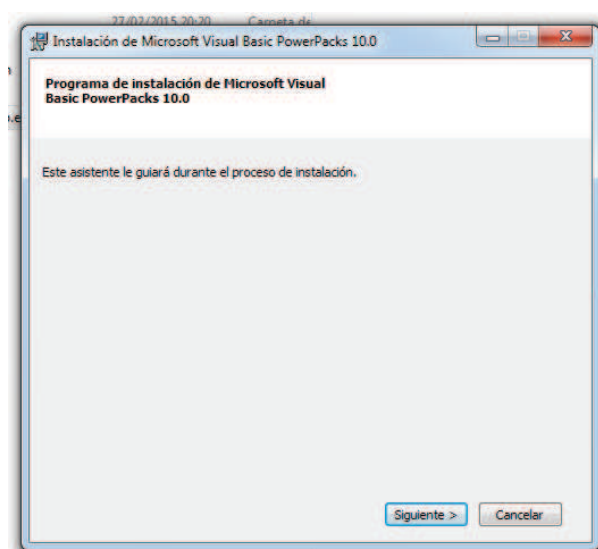


FIGURA C1. 2. Ventana de instalación de Visual Basic Power packs 10.0. Fuente Autor.

Al hacer clic en el botón siguiente aparece la siguiente ventana, donde aparecen los términos de la licencia, para aceptar estos términos se selecciona en el cuadro de *he leído los términos de la licencia y acepto*, seguido se da clic en el botón instalar.

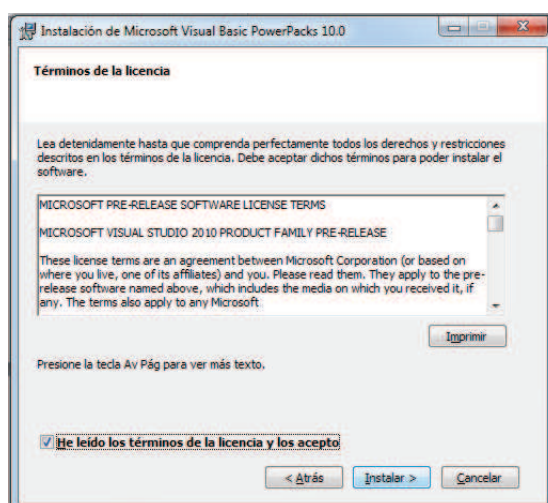


FIGURA C1. 3. Ventana de los Términos de Licencia del programa. Fuente Autor.

Se espera unos segundos hasta que se instale correctamente, y se tendrá una ventana de información donde se anunciara la correcta instalación. Para continuar damos clic en el botón finalizar.

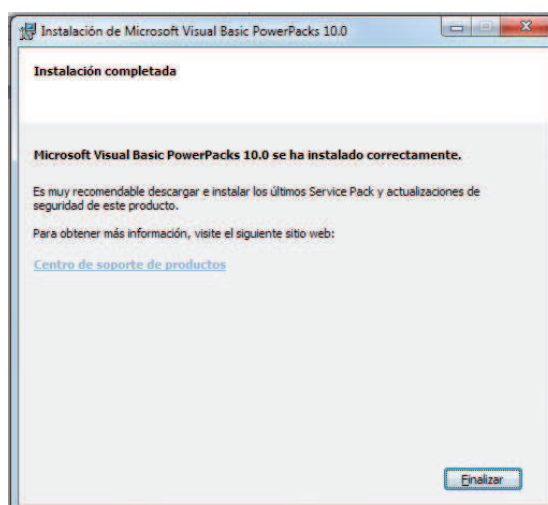


FIGURA C1. 4. Ventana de aviso de la correcta instalación del programa.

Una vez realizado todo esto, se procede a ir nuevamente a la carpeta principal donde se encuentran los archivos para la instalación, y se abre el archivo llamado *AccessDatabaseEngine.exe* en esta se selecciona la primera opción de *Reinstall or repair Microsoft Access* y se selecciona la opción siguiente.

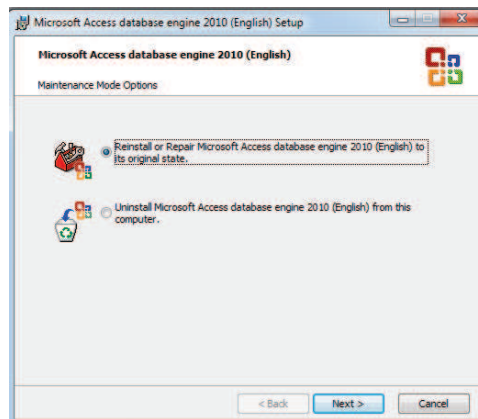


FIGURA C1. 5. Ventana de opciones de mantenimiento. Fuente Autor

En esta nueva ventana se selecciona la opción *Reinstall or repair Microsoft Access*, una vez hecho esto procedemos a dar clic en instalar. En breves momentos se va a instalar el programa soporte de Access finalizando una vez que se muestre una ventana solicitando que se reinicie el equipo, lo cual es aconsejable hacer en ese mismo instante. Para no tener ninguna clase de problemas se recomienda no tener ningún programa ni ventana abierta.

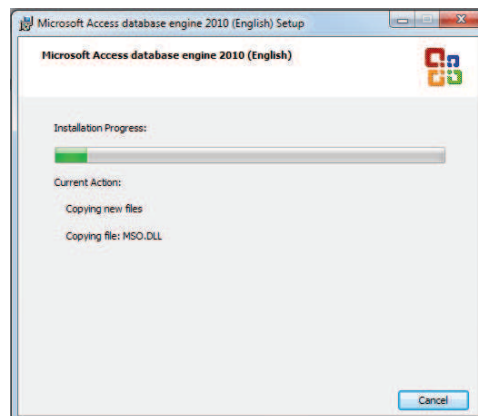


FIGURA C1. 6. Ventana del progreso de la Instalación. Fuente Autor.

Luego de que se reinició la máquina, se vuelve a abrir la carpeta con los archivos y se selecciona la aplicación *setup.exe*, el cual instala la aplicación de análisis de aceite propiamente dicha. Una vez terminada la instalación de este *setup* se mostrara la ventana principal del programa.

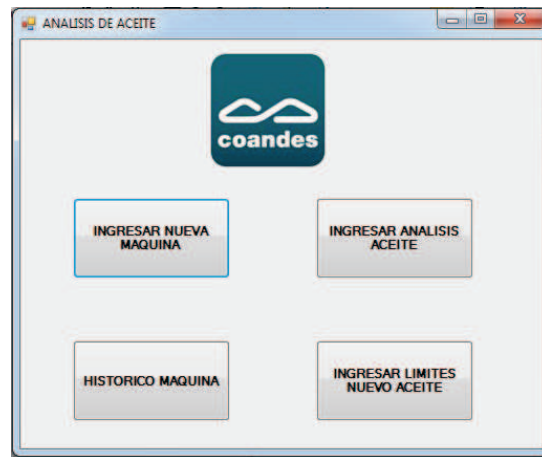


FIGURA C1. 7. Ventana principal del programa de análisis de aceite. Fuente Autor.