

**DISEÑO DE PROGRAMA TRIBOLÓGICO PARA CAMIONES MINEROS  
SUBTERRÁNEOS**

**EDGAR PELAEZ CATAÑO  
SANTIAGO CARVALHO RODRIGUEZ**

**Director del trabajo de grado  
PhD., CARLOS ALBERTO ACEVEDO ALVAREZ**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**2016**

## Resumen

Para la realización de obras de infraestructura como autopistas, Túneles viales, puentes y obras de minería a cielo abierto y subterráneo, es imprescindible la utilización de equipos y maquinaria de movimiento de tierra para poder mover y transformar grandes cantidades de material y perfilar los terrenos según los diseños de construcción e ingeniería civil. Estos equipos trabajan alrededor de 24 horas por día y en ambientes contaminados con mucho polvo, terrenos arcillosos y rocosos, en presencia de arroyos o quebradas y espacios subterráneos. Todos estos ambientes influyen en el funcionamiento y desgaste de los distintos componentes que conforman un equipo o máquina de movimiento de tierra. Por consiguiente, en los componentes mecánicos de un equipo se presentan temperaturas de trabajo y de fricción entre 150 y 900°C que es la principal variable que debemos controlar para evitar desgastes prematuros y daños frecuentes en los equipos por una mala selección de lubricantes.

Teniendo en cuenta lo anterior sabemos que uno de los elementos que constituyen un equipo o máquina, es el lubricante, ya que este protege sus diferentes componentes; cualquier anomalía o funcionamiento defectuoso del equipo depende en muchos casos, tanto de la calidad del aceite utilizado como de la degradación que este pueda sufrir a través del tiempo. En todos los equipos de la industria la frecuencia de mantenimiento está sujeta al cambio de aceite, es decir, que, si se logran ampliar los intervalos de drenaje del aceite usado, es posible dejar el equipo en operación durante un periodo de tiempo más prolongado. Tal es el caso referente de nuestra investigación que de acuerdo a sus especificaciones se pretenden utilizar los Aceites DELO 400 MGX SAE 15W40 API CJ-4 para motores diesel y Delo Gear ESI SAE 85W140 API GL-5 para diferenciales y mandos finales que por tener aditivos a base de boratos nos ofrecen unas mejoras efectivas en lubricación y ampliación de las frecuencias de cambios de aceite en más de 300 horas en el caso de los aceites de motor y de 4000 horas en el caso de los aceites para diferenciales y mandos finales.

Todo este proceso de mantenimiento se ejecuta basado en información obtenida por los análisis periódicos de las muestras de aceite en laboratorio y el análisis de costos por producción y por insumos que la utilización de estos aceites nos genera en el mantenimiento de la flota de equipos. Es de aclarar que este estudio y diseño de plan

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 088
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

tribológico y de lubricación se ha realizado en un camión minero subterráneo, como prueba piloto para implementar en toda la flota .Además otro de los beneficios a reconocer en la utilización de los aceites mencionados, es que por su prolongación de vida útil en la lubricación de los equipos, se minimizan los residuos de aceites y filtros usados que en su disposición final pueden afectar el medio ambiente, por consiguiente se minimizan los riesgos ambientales y se demuestran ahorros considerables en lubricantes, insumos, periodos de mantenimiento y operatividad del equipo o máquina.

**Palabras Clave:** Máquinas para movimiento de tierra, plan tribológico y de lubricación, Aceites a base de boratos, Frecuencias de mantenimiento.

## Abstract.

To perform infrastructure projects such as highways, road tunnels, bridges and works of underground and open sky mining, it is essential to use equipment and earthmoving machinery to move and transform large amounts of material and outline the land according to the designs of construction and civil engineering. These equipment's work around 24 hours per day and contaminated, dusty environments, clayey and rocky terrain, in the presence of streams or creeks and underground spaces. All these environments affect the performance and wear of the various components that conform an earth-moving machine or equipment.

Therefore, in the mechanical components of an equipment working temperatures and friction between 150 and 900°C can be found, which is the main variable that we must control to avoid premature wear and frequent damage to equipment by a poor selection of lubricants.

Given the above we know that one of the elements of a system or machine, is the lubricant, since this protects its various components; any anomaly or malfunction of equipment depends in many cases on both, the quality of the oil used as the degradation that this may suffer over time. In all industry equipment maintenance frequency is subject to oil change, therefore, if we can achieve to extend the used oil drain intervals, it is possible to keep the equipment in operation for a longer period of time.

Such is the case concerning our research according to the specifications it was intended to use DELO Oils 400 MGX SAE 15W40 API CJ-4 diesel engine and DELO Gear ESI SAE 85W140 API GL-5 for differential and final drives that because of having additives based on borates offer us some effective improvements in lubrication and expansion of oil changes frequencies of more than 300 hours in the case of motor oils and 4000 hours in the case of oils for differentials and final drives.

This entire maintenance process is executed based on information obtained by the periodic analysis of oil samples in the laboratory and cost analysis for production and supplies that the use of these oils causes in maintaining the equipment fleet.

It is to clear that this study on tribological and lubrication design plan has been performed in an underground mining truck, as a pilot testing to implement in the complete fleet.

In addition, another benefit to recognize in the use of the aforementioned oils, is that by its extended shelf life in the lubrication of the equipment, the disposal of waste oil and used filters is minimized, the disposal of these elements can affect the environment, therefore environmental risks are also reduced, besides substantial savings and improvements are shown in lubricants, supplies, maintenance periods and operation of the equipment or machine.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 088
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

**Keywords:** earthmoving machines, tribological and lubrication plan, oils based on borates, maintenance frequencies.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 088
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

## Reconocimiento

Al creador del universo y sus incontables maravillas, gracias por su magnificencia y entendimiento para realizar este proyecto.

A todos aquellos que de una u otra manera han aportado sus ideas y experiencias de trabajo en la realización de este proyecto que es valor máximo del trabajo, la investigación y el esfuerzo por mejorar a nivel personal y profesional.

A nuestras familias, amigos y compañeros de labores que nos brindan a diario sus buenos consejos y apoyo incondicional en la realización de nuestras metas y ayudan a discernir el conocimiento de la forma más simple y clara.

Deseamos agradecer en especial Al Docente, PhD. Carlos Acevedo la valiosa ayuda otorgada en diversas formas durante el transcurso de los estudios universitarios y la preparación y realización de este proyecto, escrito e implementado en la industria y la investigación.

Agradecimientos al Instituto Tecnológico Metropolitano por abrirnos las puertas hacia el conocimiento y la superación personal, además de permitirnos crecer en los aspectos favorables para nuestras vidas en el campo del conocimiento, el entendimiento del universo y sus transformaciones.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 088
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

## Acrónimos

**API** Instituto Americano del Petróleo.

**OEM** Fabricante Original del Equipo.

**AGMA** (American Gear Manufacturers Association).

**AFILUB** Asociación de Fabricantes Independientes de Lubricantes.

**ASTM** Sociedad Americana para los ensayos de los distintos.

Tipos de materiales.

**CONSISTENCIA NLGI** Grado asignado por NLGI (*Nacional Lubricating Grease Institute*).

**DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG** Instituto Alemán de Normalización.

**ELGI** (*European Lubricating Grease Institute*) Instituto europeo de lubricación con grasa.

**EP** Siglas de Extrema Presión (*Extreme Pressure*).

**ISO-VG** El sistema de clasificación de la viscosidad ISO, es un sistema internacional aprobado por la “*International Standards Organisation*”, que clasifica los lubricantes industriales de acuerdo con su viscosidad.

**NLGI** (*National Lubricating Grease Institute*) (USA).

**SAE** (*Society Americans of Engineers*).

## Contenido

Introducción	20
1.1 Generalidades	20
1.2 Objetivos	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
1.2.1 General	22
1.2.2 Específicos	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
2. Marco Teórico	23
2.1 Definición de mantenimiento	23
2.2 Tipos de mantenimiento	23
2.1.1 Mantenimiento Preventivo	23
2.1.2 Mantenimiento Correctivo	24
2.1.3 Mantenimiento Predictivo	25
2.1.4 Mantenimiento Productivo Total (T.P.M.)	26
2.2 Camiones Mineros	26
2.2.1 Tipos De Camiones Mineros	28
2.2.1.1 Camión minero Rígido para carretera	28
2.2.1.2 Camión minero rígido fuera de carretera	29
2.2.1.3 Camión minero articulado para carretera o tracto camión	30
2.2.1.4 Camión minero articulado fuera de carretera	31
2.2.1.5 Camión minero subterráneo	33
2.2.1.6 Camión minero subterráneo Caterpillar	34
2.3 Componentes de los camiones mineros	35
2.3.1 Motor Diesel	36
2.3.1.1 Principio de funcionamiento	39
2.3.2 Componentes del motor Diesel	43
2.3.2.1 Bloque	43
2.3.2.2 Cigüeñal	43
2.3.2.3 Culata	45
2.3.2.3 Pistones	45
2.3.2.4 Camisas	46
2.3.2.5 Segmentos o anillos de pistón	47

2.3.2.6	Bielas	48
2.3.2.7	Cojinetes	49
2.3.2.8	Válvulas	50
2.3.2.9	Rotador de válvulas	51
2.3.2.10	Árbol de levas	52
2.3.2.11	Engranajes de distribución	53
2.3.2.12	Dispositivos anti vibración	54
2.4	Sistemas auxiliares del motor Diesel	56
2.4.1	Sistema de Lubricación	57
2.4.1.1	Componentes del Sistema de Lubricación.	58
2.4.2	Aceites Lubricantes para motores Diesel	59
2.4.2.1	Recomendaciones de aceites para motores Diésel	61
2.5.1	Funcionamiento	64
2.5.2	Partes del convertidor	65
2.5.3	Flujo de aceite a través del convertidor de torque	68
2.5.4	Tipos de convertidor de torque	68
2.5.5	Convertidor de torque convencional	69
2.5.6	Convertidor de torque con embrague unidireccional.	69
2.5.7	Convertidor de torque de capacidad variable	70
2.5.8	Convertidor de torque con embrague de impelente	72
2.5.9	Convertidor de torque con embrague traba (Lockup Clutch)	75
2.5.10	Condición de mando convertidor y mando directo	76
2.5.11	Divisor de torque	79
2.6	Eje de mando	81
2.6.1	Funcionamiento	81
2.6.2	Partes del eje de mando o cardan	83
2.7	Engranajes	83
2.7.1	Funcionamiento	84
2.8	Transmisión	86
2.8.1	Funcionamiento	87
2.8.2	Tipos de Transmisiones	88

2.8.2.1 Transmisión Planetaria	88
2.8.2.2 Transmisión de Contraeje	99
2.9 Diferencial	102
2.9.1 Funcionamiento	103
2.10.1 Funcionamiento	107
2.10.2 Partes del mando Final	107
2.10.3 Lubricación de sistemas de transmisión en camiones mineros	108
2.10.4 Tipos de aceites	108
2.10.5 Aceites lubricantes para motores diésel	109
2.10.6 Aceites para Transmisiones.	112
2.10.6.1 Principales funciones de los aceites para Transmisión	113
2.10.6.2 La Contaminación del Tren de Fuerza	118
2.10.6.3 La Degradación del Aceite	118
2.10.7 Aceites Lubricantes para Ejes diferenciales y mandos finales	119
2.10.7.1 Diferenciales separados	119
2.10.7.2 Grupo Planetario o Mandos Finales	119
2.10.8 Aceites lubricantes a base de boratos (Technology Isosyn)	120
2.10.8.1 Comparación de los lubricantes TDX SAE 15W40 API CI-4 y el Delo 400 MGX SAE 15W40 API CJ-4	123
2.11 Características físicas y químicas de los lubricantes	124
2.11.1 Viscosidad.	125
2.11.1.1 Viscosidad Cinemática	126
2.11.2 Viscosímetros Comerciales	126
2.11.3 Clasificación de los aceites según su viscosidad	128
2.11.4 Índice de Viscosidad Método ASTM D 567	129
2.11.5 Peso Específico Método ASTM D-287	129
2.11.6 Color o Fluorescencia Método ASTM D-1500	131
2.11.7 Rigidez Dieléctrica Método ASTM D-877 y ASTM D-1816	131
2.11.8 Punto de Congelación y de Enturbiamiento Método ASTM D-97	131
2.11.9 Punto de Inflamación Método ASTM D-92 y ASTM D-93	131
2.11.10 Punto de Combustión Método ASTM D-92 y ASTM D-93	131

2.11.11 Emulsificación Método ASTM D-157	132
2.11.12 Evaporación o Destilación Método ASTM D-972	132
2.11.13 Residuos de Carbón Método ASTM D-189 y ASTM D- 524	132
2.11.14 Contenido de Cenizas Sulfatadas Método ASTM D-482 y ASTM D-874	133
2.11.15 Numero de Neutralización o TAN Método ASTM D-664 Y ASTM D-974	133
2.11.16 Numero Básico Total (TBN) Método ASTM D-664 Y ASTM D-2896	133
2.11.17 Punto de Anilina Método ASTM D-611	134
2.11.18 Corrosión al Cobre Método ASTM D-130	134
2.11.19 Aero emulsión o Atrapamiento de Aire Método DIN 5381	134
2.11.20 Formación de Espuma Método ASTM D-892	135
2.11.21 Tensión Interfacial Método ASTM D-971	135
2.12 Tipos de lubricación	135
2.12.1 Engrasadores Mecánicos de bomba común	136
2.12.2 Sistema de Lubricación Centralizada	137
2.12.3 Sistema de Lubricación por Salpicadura o Barboteo	139
2.12.4 Sistema de Lubricación por Aerosoles	140
2.12.5 Sistema de lubricación por circulación cerrada o presión	140
3. Metodología	148
4. Resultados y discusión	150
4.1 Diseño de plan tribológico para camiones mineros subterráneos.	150
4.1.1.1 Toma de muestras de Aceite	151
4.2 Pautas para manejo de residuos	153
4.2.2. Aceite	153
4.2.2 Grasa	153
4.2.3 Pautas de Seguridad en la ejecución del mantenimiento	154
4.2.4 Reglas de Seguridad en el mantenimiento.	154
4.2.5 Elementos de Seguridad.	155
4.2.6 Vestuario y elementos de Protección Personal.	155
4.2.7 Herramientas Apropriadas	156

4.2.8 Detención del Motor Antes de Dar Servicio.	156
4.1.8.2 Trabajo Debajo de la Máquina	157
4.2.9 Limpieza de la Máquina	158
4.2.10 Cuidados al Agregar Combustible o Aceite.	158
4.1.10.1 Nivel de Agua en el Radiador.	159
4.1.10.2 Uso de Iluminación	159
4.1.10.3 Precauciones con la Batería	159
4.2.11 Manipulación de Mangueras a Alta Presión	159
4.2.11.1 Precauciones con el Aceite a Alta Presión.	159
4.2.12 Precauciones al Efectuar Mantenimiento a Alta Temperatura o Alta Presión	160
4.2.12.1 Ventilador y Correas en Movimiento.	160
4.2.13 Cuidados al realizar reparaciones.	161
4.2.14 Manejo de residuos de la lubricación e impactos ambientales.	163
4.2.14.1 Normas y procedimientos para la gestión de aceites usados.	163
4.2.14.2 Prohibiciones.	163
4.2.14.3 Área de lubricación.	164
4.2.14.4 Tanques superficiales o tambores	165
4.3 Diseño e implementación de programa tribológico con aceite Delo 400 MGX SAE 15W40 API CJ-4 en Motor Diesel Deutz TCD 2013 L4.	166
4.3.1 Mantenimiento Preventivo	169
4.3.2 Recomendaciones	169
4.3.3 Mantenimiento de los Radiadores	171
4.3.3.1 Limpieza con aire comprimido	171
4.3.3.2 Limpieza con limpiador desengrasante	171
4.3.3.3 Limpieza con vapor a alta presión	171
4.3.4 Mantenimiento al sistema de combustible	171
4.3.5 Mantenimiento de los filtros de admisión de aire del motor	173
4.3.6 Mantenimiento preventivo del filtro de Lubricación	174
4.4 Mantenimiento Correctivo	
4.4.1 Mantenimiento programado	178

4.4.2 Reparaciones	178
4.4.3 Reacondicionamiento de culatas (cabezas)	178
4.4.4 Reparación por fugas	179
4.4.5 Reacondicionamiento Parcial	179
4.4.6 Reacondicionamiento General	179
4.4.7 Comprobaciones antes de desarmar	179
4.5 Diseño de plan tribológico con aceite Delo Gear ESI SAE 85W140 API GL-5 en diferenciales de potencia y mandos finales	184
4.5.1 Mantenimiento Preventivo	184
4.5.2 Mantenimiento Correctivo	189
4.5.2.1 Revisión de la corona	189
4.5.2.2 Verificación del piñón de ataque y rodamientos	192
4.5.2.3 Diagnóstico de tapas de diferencial y pistas de rodamientos	193
4.5.2.4 Revisión del Grupo de piñones satélites y crucetas de escualización.	194
4.5.2.5 Diagnóstico de resortes de freno del diferencial	195
4.5.2.6 Montaje del diferencial.	195
4.5.2.7 Diagnóstico de mandos finales	197
4.6 Mantenimiento Predictivo	199
4.7 Análisis de viabilidad financiera por costos de operación y mantenimiento	200
4.7.1 Prueba piloto	200
4.7.2 Análisis de costos en mantenimiento del motor diésel	202
4.7.3 Analisis de costos en mantenimiento de diferenciales	207
5. Conclusiones, recomendaciones y trabajo futuro	215
5.1 Conclusiones	215
5.2 Recomendaciones y trabajo futuro	216
Referencias Bibliográficas	218
Apéndice	221

### Lista de Figuras

Figura 1. Sección Transversal Ampliada de la película de aceite y la superficie irregular del material	21
Figura 2. Camión Minero Rígido	28
Figura 3. Camión Minero Rígido Fuera de Carretera	29
Figura 4. Camión Minero Articulado o Tracto camión	30
Figura 5. Camión minero articulado dumper	31
Figura 6. Camión Minero Subterráneo	33
Figura 7. Camión minero subterráneo Atlas Copco	34
Figura 8. Componentes del Tren de Fuerza del Camión Minero Subterraneo	36
Figura 9. Motor Diesel Electrónico Marca Caterpillar	38
Figura 10. Ciclos de Funcionamiento del Motor Diesel	39
Figura 11. Componentes del Motor Diesel	41
Figura 12. Bloque de Motor Diesel	43
Figura 13. Cigüeñal	44
Figura 14. Culata de Motor Diesel	45
Figura 15. Modelos de pistones utilizados en Motores Diesel y Gasolina	46
Figura 16. Despiece de Camisa y Bloque de Motor	47
Figura 17. Pistón y Anillos	48
Figura 18. Bielas de Motor	48
Figura 19. Casquetes o Cojinetes	49
Figura 20. Válvulas y sus demás componentes	51
Figura 21. Asiento y Guía de Válvula	52
Figura 22. Árbol de Levas	53
<i>Figura 23.</i> Engranajes de Distribución del Motor	54
<i>Figura 24.</i> Polea Dámper de Motor	55
<i>Figura 25.</i> Corte Interior del damper	55
Figura 26. Sistema de Lubricación Motor Diesel	57
<i>Figura 27.</i> Bomba de Lubricación del Motor	58
<i>Figura 28.</i> Esquema de conexión del Convertidor de Torque	64
<i>Figura 29.</i> Convertidor de torque en Reparación	65

<i>Figura 30.</i> Dirección del Fluido Hidráulico de Acoplamiento	66
<i>Figura 31.</i> Flujo de Aceite a través del Convertidor de Torque	67
<i>Figura 32.</i> Convertidor de Troque de Embrague Unidireccional	69
<i>Figura 33.</i> Convertidor de Torque de Capacidad Variable	71
<i>Figura 34.</i> Embrague de la Impelente	73
<i>Figura 35.</i> Sección de un Convertidor de Embrague Impelente	73
<i>Figura 36.</i> Convertidor de Torque con Embrague de Traba. (LOCKUP CLUTCH)	76
<i>Figura 37.</i> Convertidor en Posición de Mando de Torque hacia el Eje de Salida.	77
<i>Figura 38.</i> Convertidor en Posición de mando Directo. Sin Multiplicación de par	78
<i>Figura 39.</i> Divisor de Torque	79
<i>Figura 40.</i> Engranajes del Divisor de Torque	80
<i>Figura 41.</i> Tipos de Montaje de Ejes de Mando o Cardanes	82
<i>Figura 42.</i> Despiece de Cardan	83
<i>Figura 43.</i> Engranajes de la transmisión	84
<i>Figura 44.</i> Muestra los ejes con engranajes de transmisión constante y los ejes de Embrague	85
<i>Figura 45.</i> Embrague de Accionamiento de la Transmisión	86
<i>Figura 46.</i> Servo transmisión Planetaria	89
<i>Figura 47.</i> Engranajes planetarios en posición Velocidad de entrada es igual a la de salida	90
<i>Figura 48.</i> Engranaje Planetario en Posición de reducción de Velocidad	90
<i>Figura 49.</i> Engranaje Planetario a alta Velocidad	91
<i>Figura 50.</i> Engranaje Planetario en giro Inverso	91
<i>Figura 51.</i> Distribución de Engranajes Planetarios	92
<i>Figura 52.</i> Engranajes en Acoplamiento de Avance	93
<i>Figura 53.</i> Engranajes en acoplamiento de reversa	94
<i>Figura 54.</i> Engranajes en Acoplamiento de Segunda Velocidad	94
<i>Figura 55.</i> Engranaje en acoplamiento de Primera Velocidad	95
<i>Figura 56.</i> Engranajes en Primera Velocidad Detenida	96
<i>Figura 57.</i> Engranajes en Acoplamiento de Segunda Velocidad Detenida	96
<i>Figura 58.</i> Engranajes en Acoplamiento de Segunda Velocidad de Retroceso	97

<i>Figura 59.</i> Engranajes en Acoplamiento de Primera Velocidad de Retroceso	97
<i>Figura 60.</i> Embrague de Transmisión Planetaria	98
<i>Figura 61.</i> Desensamble de Transmision de Contraeje	99
<i>Figura 62.</i> Engranajes de transmisión de Contraeje	100
<i>Figura 63.</i> Dirección de Flujo de Potencia en Primera de avance	101
<i>Figura 64.</i> Flujo de potencia en Segunda Retroceso	102
<i>Figura 65.</i> Grupo de Diferencial, Frenos y Mandos Finales	103
<i>Figura 66.</i> Grupo de Diferencial de Potencia	104
<i>Figura 67.</i> Desarmado de Diferencial	105
<i>Figura 68.</i> Cruquetas y Ejes del Diferencial	106
<i>Figura 69.</i> Grupo de Mando Final y freno	106
<i>Figura 70.</i> Mando Final y Engranajes	107
<i>Figura 71.</i> Imagen de una transmisión de aplicación en camiones mineros	116
<i>Figura 72.</i> Imagen de transmisión Caterpillar	117
<i>Figura 73.</i> Grupo de eje diferencial de potencia	119
<i>Figura 74.</i> Imagen de viscosímetro comercial	127
<i>Figura 75.</i> Comparación en la aplicación de lubricantes	138
<i>Figura 76.</i> Lubricación por salpicadura	139
<i>Figura 77.</i> Lubricante en aerosol	140
<i>Figura 78.</i> Circuito de lubricación a presión	141
<i>Figura 79.</i> Imagen de camión minero articulado NORMET 1060D	143
<i>Figura 80.</i> Procedimiento de extracción de muestra de aceite	151
<i>Figura 81.</i> Tapón de diferencial	152
<i>Figura 82.</i> Interruptores de bloqueo de operación	154
<i>Figura 83.</i> Imagen de dotación de elementos de protección	156
<i>Figura 84.</i> Símbolo de peligro en trabajos bajo cajas o estructuras de volteo	157
<i>Figura 85.</i> Símbolos de peligro en la manipulación de combustible	158
<i>Figura 86.</i> Símbolo de peligro en manejo de altas presiones hidráulicas	160
<i>Figura 87.</i> Símbolo de peligro en contacto con superficies calientes	160
<i>Figura 88.</i> Símbolo de peligro en contacto con mecanismos en movimiento	161
<i>Figura 89.</i> Camión con caja de volteo elevada	161

Figura 90. Acopio de canecas de aceite	164
Figura 91. Imagen de área de lubricación	165
Figura 92. Símbolo de manejo incorrecto de residuos de lubricación	166
Figura 93. Imagen de Motor Deutz 2013 L4	169
Figura 94. Imagen de enfriadores del Motor y Transmisión	170
Figura 95. Filtro de combustible del motor DEUTZ	171
Figura 96. Filtro separador de sedimentos del combustible	172
Figura 97. Filtros de Admisión del motor	174
Figura 98. Filtro de Aceite del motor	175
Figura 99. Servicio y reparación en Culata o (cabeza) de Motor diesel	178
Figura 100. Imagen de sistema de diagnóstico de fallas	181
Figura 101. Diferencial de un camión minero 730 CAT	185
Figura 102. Procedimiento de extracción de muestra de aceite	185
Figura 103. Carcasa y junta cardanica del diferencial	186
Figura 104. Tapón de llenado de diferencial	187
Figura 105. Imagen de ejes diferenciales	187
Figura 106. Corona y piñón de ataque del diferencial	189
Figura 107. Imagen de piñón de ataque y rodamientos	190
Figura 108. Tapa de diferencial	193
Figura 109. Corona y conjunto de piñones satélites y cruceta de escualización	194
Figura 110. Resortes de freno del diferencial	195
Figura 111. Medición y ajuste del diferencial	196
Figura 112. Carcaza y arandelas del mando final	197
Figura 113. Imagen de conjunto del mando final	198
Figura 114. Diagrama del control electrónico	200

### Lista de Tablas

Tabla 1. Especificaciones API de aceite Motor.	110
Tabla 2. Clasificación SAE de los aceites	111
Tabla 3. Especificaciones aceite Transmisión.	113
Tabla 4. Grados de viscosidad a bajas y altas temperaturas.	128
Tabla 5. Mantenimiento programado del motor Diesel.	168
Tabla 6. Averías y posibles soluciones en motores Diésel.	176
Tabla 7. Metales que se analizan en un aceite motor	182
Tabla 8. Concentración permitida de partículas metálicas en el aceite usado de motor	184
Tabla 9. Mantenimiento Preventivo de diferenciales y mandos finales	188
Tabla 10. Averías y soluciones frecuentes en diferenciales de potencia	191
Tabla 11. Calculo de costos en insumos e intervenciones de mantenimiento	203
Tabla 12. Resultados obtenidos aplicación de Aceite DELO GEAR en diferencial en 5000 horas de trabajo.	209

### Lista de Gráficos

Gráfico 1. Comparativo de horas de trabajo de cada aceite.	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Gráfico 2. Comparativo de cantidad de insumos utilizados con cada aceite	205
Gráfico 3. Comparativos en costos de materiales utilizados con la aplicación de los dos aceites	206
Gráfico 4. Ahorros en costos por hora de operación con aceite delo gear 400 mgx sae 15w40	206
Gráfico 5. Comparativo de costos en 3 meses de operación con ambos aceites para diferenciales	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Gráfico 6. Comparativo horas de trabajo de aceites para diferencial	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Gráfico 7. Cantidad de materiales utilizados en cada cambio de aceite	210
Gráfico 8. Costos de materiales utilizados en cada cambio de aceite	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Gráfico 9. Resultado de ahorros del aceite DELO GEAR en 5000 horas	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Gráfico 10. Comparativo de costos de producción con la utilización de cada aceite en 5000 horas	213

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 088
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

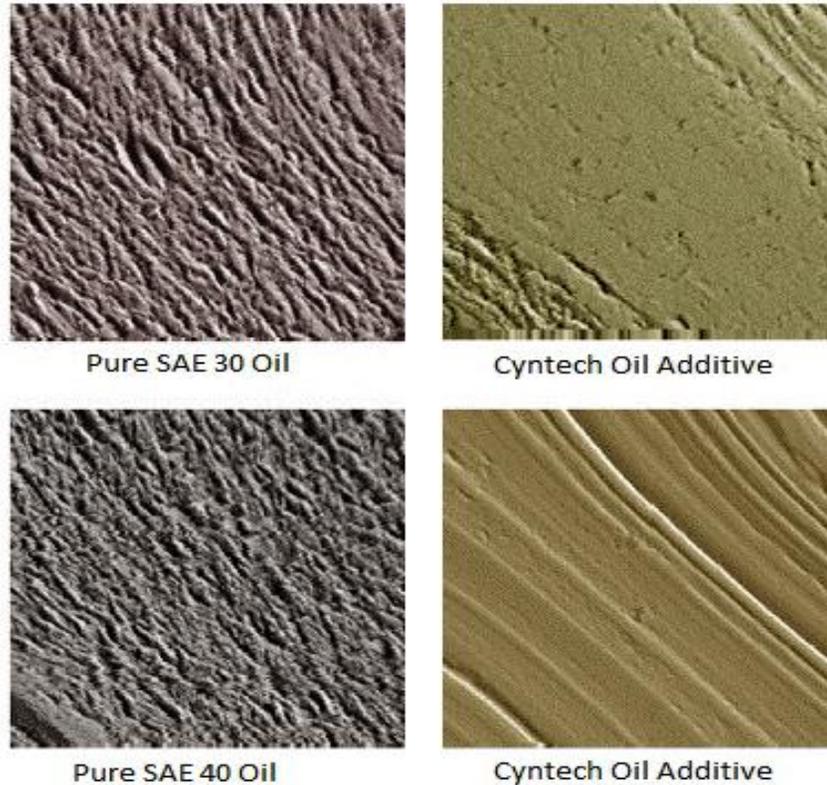
## Introducción

### 1.1 Generalidades

Podemos definir a la lubricación como el fenómeno de reducción del frotamiento entre dos superficies que se encuentran en movimiento una con respecto a la otra, mediante la interposición de una sustancia entre ambas. La reducción de la fricción puede alcanzarse por medio de dos mecanismos básicos. Uno de ellos consiste en recubrir las dos superficies con una sustancia, como por ejemplo el grafito, que reduce el coeficiente de fricción entre ellas cuando se deslizan una sobre otra; llamamos a esto lubricación sólida. El otro consiste en hacer que una película de fluido evite que las superficies estén en contacto la una con la otra, con lo que la única resistencia al movimiento es la debida a la tenacidad o viscosidad del fluido; llamamos a esto lubricación fluida, que es el método que más se emplea en la práctica. (Hobson, 2002)

Cuando se examina al microscopio, hasta la superficie mecanizada con la mayor precisión pone de manifiesto ciertas irregularidades, ya que la sección transversal de dos superficies separadas por una película lubricante puede representarse en la Figura 1.

Además, puede ser que las superficies no sean perfectamente planas o cilíndricas, aun prescindiendo de la irregularidad superficial, por cuya razón, cuando se monta un cojinete, dichas superficies establecen contacto con algunos puntos aislados mientras que el resto permanece bastante separado.



**Figura 1.** Sección Transversal Ampliada de la película de aceite y la superficie irregular del material. (eco-question.com, 2015)

Estas crestas suelen eliminarse normalmente recurriendo a un esmerilado; aunque los casquillos de los cojinetes que se mecanizan con tan buena precisión que no hacen necesario este raspado se emplea cada vez más sobre todo en la industria del automóvil. No obstante, el raspado a mano será siempre necesario cuando se desee alcanzar un elevado grado de precisión, como es el caso de los husillos y cabezales de máquinas herramientas.

Debido a que la lubricación disminuye la fricción, ésta ahorra energía y reduce el desgaste. Sin embargo, ni el mejor lubricante podría eliminar completamente la fricción. En el motor de un vehículo eficientemente lubricado, por ejemplo, casi el 20% de la energía generada es usada para evitar la fricción. (Hobson, 2002)

La gestión del mantenimiento con base en la lubricación, es uno de los eslabones de la industria más importantes en el sostenimiento y operatividad de los equipos, y además esta gestión influye de manera drástica en los costos por mantenimiento y reparaciones.

La ejecución de un buen plan de mantenimiento, ofrece resultados a corto plazo que se pueden demostrar en la operación continua de los procesos de producción y la reducción de fallas por desgaste o secuencias inadecuadas de lubricación.

Este diseño e implementación de un plan tribológico o de lubricación, con aceite a base de boratos, se aplicará fundamentalmente en equipos de minería y construcción, como los camiones mineros subterráneos, que debemos estudiar aparte y comprender el funcionamiento y lubricación de sus mecanismos y además explicar su clasificación y aplicaciones en el trabajo de movimiento de tierras.

Es importante también resaltar que se profundizara en la lubricación fluida por aceites y se explicaran cada una de sus clasificaciones y aplicaciones en diferentes mecanismos.

Actualmente en las empresas se busca obtener un óptimo funcionamiento de los equipos, y más aún en las empresas de minería y construcción, que trabajan en ambientes hostiles y al aire libre o en espacios subterráneos, que limitan el mantenimiento y la vida útil de las máquinas.

Por esto nosotros como ingenieros electromecánicos, debemos estar preparados para afrontar los problemas de mantenimiento de los equipos, y contribuir con soluciones prácticas y de ingeniería al desarrollo de planes y prácticas de mejoramiento del mantenimiento y lubricación en los equipos y máquinas que mueven las industrias.

## 1.2 Objetivos

**1.2.1 General.** Diseñar un programa tribológico para camiones mineros subterráneos, tipo Variomec 1060D y realizar prueba piloto en un camión ya antes mencionado para evaluar el rendimiento productivo de este.

### 1.2.2 Específicos

- Proponer un plan de mantenimiento preventivo según el horometro del camión minero, ajustando las frecuencias de tiempo en revisión y cambios de aceite y filtros.
- Estudiar la viabilidad financiera y operativa del lubricante a base de boratos en los componentes del tren de fuerza, mediante la medición de costos y tiempos de productividad, analizando las frecuencias de mantenimiento preventivo y comparando los resultados obtenidos.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 088
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

## 2. Marco Teórico

### 2.1 Definición de mantenimiento

El mantenimiento no es una función "miscelánea", produce un bien real, que puede resumirse en: capacidad de producir con calidad, seguridad y rentabilidad.

Para la industria no es un secreto la exigencia que plantea una economía globalizada, mercados altamente competitivos y un entorno variable donde la velocidad de cambio sobrepasa en mucho nuestra capacidad de respuesta. En este panorama estamos inmersos y vale la pena considerar algunas posibilidades que siempre han estado, pero ahora cobran mayor relevancia.

Particularmente, impera la necesidad de redimensionar la empresa implica para el mantenimiento, retos y oportunidades que merecen ser valorados.

Debido a que el ingreso siempre provino de la venta de un producto o servicio, esta visión primaria llevó la empresa a centrar sus esfuerzos de mejora, y con ello los recursos, en la función de producción. El mantenimiento fue "un problema" que surgió al querer producir continuamente, de ahí que fue visto como un mal necesario, una función subordinada a la producción cuya finalidad era reparar desperfectos en forma rápida y menos costosa.

### 2.2 Tipos de mantenimiento

**2.1.1 Mantenimiento Preventivo.** Este tipo de mantenimiento surge de la necesidad de minimizar la secuencia de mantenimientos los correctivos y todo lo que representa. Pretende reducir las reparaciones y fallas mediante una rutina de inspecciones periódicas y la renovación de piezas o mecanismos dañados. La lubricación es parte vital de un óptimo mantenimiento preventivo.

Este mantenimiento se rige por programas de revisión periódicos y seguimiento pre operacional por parte de operarios y personal técnico de mantenimiento.

Ventajas:

- Si se hace correctamente, exige un conocimiento de las máquinas y un tratamiento de los datos históricos de cada equipo y ayudará en gran medida a controlar la maquinaria e instalaciones. (Cuesta, 2003)

- El cuidado periódico conlleva un estudio óptimo de conservación con la que es indispensable una aplicación eficaz para contribuir a un correcto sistema de calidad y a la mejora continua. (Cuesta, 2003)
- Reduce el mantenimiento correctivo y esto representa una reducción de costos de producción y un aumento de la disponibilidad, esto posibilita una planificación de los trabajos del departamento de mantenimiento, así como una previsión de las reparaciones o medios necesarios. (Cuesta, 2003)
- Se concreta de mutuo acuerdo el mejor momento para realizar el paro de los equipos con la gerencia de producción. (Cuesta, 2003)

Desventajas:

- Representa una inversión inicial en infraestructura y mano de obra. El desarrollo de planes de mantenimiento se debe realizar por técnicos especializados. (Cuesta, 2003)
- Si no se hace un correcto análisis del nivel de mantenimiento preventivo, se puede sobrecargar el costo de mantenimiento sin mejoras sustanciales en la disponibilidad. (Cuesta, 2003)
- Los trabajos rutinarios cuando se prolongan en el tiempo produce falta de motivación en el personal, por lo que se deben crear sistemas imaginativos para convertir un trabajo repetitivo en un trabajo que genere satisfacción y compromiso, la implicación de los operarios de preventivo es indispensable para el éxito del plan. (Cuesta, 2003)

**2.1.2 Mantenimiento Correctivo.** Es la ejecución de tareas de diagnóstico y reparaciones que llevan a cambio o ajuste de componentes en un equipo determinado. Este mantenimiento se da cuando ocurre la falla y debe ser resuelta para seguir con los programas de producción.

Ventajas:

- Si el equipo está preparado la intervención en el fallo es rápida y la reposición en la mayoría de los casos será con el mínimo tiempo. (Cuesta, 2003)
- No se necesita una infraestructura excesiva, un equipo de Técnicos competentes será suficiente, por lo tanto, el costo de mano de obra será mínimo, será más

prioritaria la experiencia y la pericia de los técnicos, que la capacidad de análisis o de estudio del tipo de problema que se produzca. (Cuesta, 2003)

- Es rentable en equipos que no intervienen de manera instantánea en la producción, donde la implantación de otro sistema resultaría poco económica. (Cuesta, 2003)

Desventajas:

- Se producen paradas y daños imprevisibles en la producción que afectan el proceso de manera incontrolada.
- Se requiere alta calidad en las reparaciones debido a la rapidez en la intervención, y a la prioridad de reponer antes que reparar definitivamente, por lo que produce un hábito a trabajar defectuosamente, sensación de insatisfacción e impotencia, ya que este tipo de intervenciones a menudo generan otras al cabo del tiempo por mala reparación por lo tanto será muy difícil romper con esta inercia.

**2.1.3 Mantenimiento Predictivo.** Consiste en realizar pruebas y diagnósticos con dispositivos electrónicos o scanner, que nos permitan visualizar los niveles de vibración, temperatura, condiciones atmosféricas, condiciones mecánicas y límites de carga a los que son expuestos los componentes de una maquina o equipo para prevenir daños futuros o diagnosticar problemas actuales de los equipos intervenidos. (Cuesta, 2003)

Ventajas:

La intervención en el equipo o cambio de un elemento. Nos obliga a dominar el proceso y a tener unos datos técnicos, que nos comprometerá con un método científico de trabajo riguroso y objetivo.

Desventajas:

- La implementación de un sistema de este tipo requiere una inversión inicial importante, los equipos y los analizadores de vibraciones tienen un costo elevado. De la misma manera se debe destinar un personal técnico a realizar la lectura periódica de datos. (Cuesta, 2003)
- Se debe tener un personal que sea capaz de interpretar los datos que generan los equipos y tomar conclusiones en base a ellos, trabajo que requiere un conocimiento técnico elevado de la aplicación. (Cuesta, 2003)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 088
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

- Por todo ello la implantación de este sistema se justifica en máquinas o instalaciones donde los paros intempestivos ocasionan grandes pérdidas, donde las paradas innecesarias ocasionen grandes costos. (Cuesta, 2003)

**2.1.4 Mantenimiento Productivo Total (T.P.M.).** Mantenimiento productivo total es la traducción de TPM (*Total Productive Maintenance*). El TPM es el sistema japonés de mantenimiento industrial la letra M representa acciones de MANAGEMENT y Mantenimiento. Es un enfoque de realizar actividades de dirección y transformación de empresa. La letra P está vinculada a la palabra "Productivo" o "Productividad" de equipos pero hemos considerado que se puede asociar a un término con una visión más amplia como "Perfeccionamiento" la letra T de la palabra "Total" se interpreta como "Todas las actividades que realizan todas las personas que trabajan en la empresa". (www.maquinariaspesadas.org, 2015)

Definición:

Es un sistema de organización donde la responsabilidad no recae sólo en el departamento de mantenimiento sino en toda la estructura de la empresa "El buen funcionamiento de las máquinas o instalaciones depende y es responsabilidad de todos" (Donaldson, 2015).

El sistema está orientado a lograr:

- Cero accidentes
- Cero defectos.
- Cero fallas.

## 2.2 Camiones Mineros

El transporte es la operación por la que se traslada el mineral arrancado hasta el exterior de la mina. (Caterpillar, 2012)

El transporte dentro de una mina puede ser continuo, discontinuo o una mezcla de ambos. El transporte continuo utiliza medios de transporte que están continuamente en funcionamiento. Dentro de este tipo de transporte se utilizan cintas, transportadores blindados y el transporte por gravedad, en pozos y chimeneas.

En el transporte discontinuo los medios de transporte realizan un movimiento alternativo entre el punto de carga y el de descarga. En este grupo se utiliza el ferrocarril y los camiones mineros.

Dentro de las minas subterráneas se distingue, además, entre el arrastre y la extracción. Por arrastre se entiende el transporte por las labores situadas, aproximadamente, a la misma cota. Y por extracción el transporte vertical que tiene por objeto situar el mineral en la superficie.

Para el desarrollo de estas labores de minería y construcción, es de vital importancia el cargue de materiales y desplazamiento de estos hacia botaderos o lugares de acopio externos al lugar de extracción del material.

Uno de los equipos más utilizados en este proceso de cargue de materiales, son los camiones mineros.

El camión minero es un vehículo motorizado utilizado en el transporte de cargas y materiales de extracción primaria. Se diferencia de los autos en que estos tienen su estructura como un solo casco, de forma enteriza, por su parte la mayoría de los camiones se construyen alrededor de una estructura resistente llamada chasis. Estos están formados por un chasis portante, generalmente un marco estructural, una cabina y una estructura para transportar la carga. El camión es un vehículo pesado que se utiliza para el transporte de cargas o mercancías grandes o pesadas y pesa mínimo 7 toneladas. (Finning, 2006)

Los tamaños y los tipos de camiones pueden variar de acuerdo a su uso, desde pequeños como las camionetas para cargas ligeras, hasta los trenes de carretera, pasando por los camiones todoterrenos de 200 toneladas usados en minería. (Caterpillar, 2012)

Estos vehículos se caracterizan por utilizar motores con potencias que van desde los 250 hasta los 1200Hp y poseen 2 o 3 ejes que permiten soportar grandes cargas con una resistente estructura llamada chasis a la que se le pueden adaptar diferentes tipos de carrocerías. De acuerdo a esta estructura el vehículo pesado adquiere diferentes nombres, entre ellos encontramos: el camión volquete, el camión cisterna, el camión plataforma, camión articulado o camión rígido para minería. (Esquiús, 1999)

Históricamente, el primer camión fue creado en 1898, por el alemán Gottlieb Daimler con el paso de los años, los camiones empezaron a ser mejorados y beneficiarse de innovaciones técnicas como las ruedas gemelas, la transmisión, el frenado, las suspensiones, entre otras. (Esquiús, 1999)

Las principales marcas de camiones actualmente son: Renault Trucks, DAF, Iveco, Volvo, Scania, MAN AG Mercedes-Benz, Caterpillar, Normet y Paus. (Cuesta, 2003)

## 2.2.1 Tipos De Camiones Mineros

**2.2.1.1 Camión minero Rígido para carretera.** El Camión Volquete, también conocido como *Camión Basculante* o *Bañera*, se utiliza para el movimiento de tierras y para el acarreo de materiales en general. Está dotado de una caja abierta basculante que descarga por vuelco (Ver Figura 2). (Autores, 2015)

Transporta cargas de hasta 20 Tm. A diferencia del Camión minero Dumper, la caja basculante se adapta a un bastidor dotado de motor, prefabricado en serie.



**Figura 2.** Camión Minero Rígido. (Inautonews, 2015)

Este vehículo está diseñado para transportar materiales pétreos y de minería en cielo abierto, minas subterráneas o autopistas, aunque no es viable que trabaje en muchos túneles subterráneos debido a su altura, ya que los túneles que se construyen en minería no ofrecen la altura necesaria para la circulación de este tipo de camiones mineros.

Normalmente estos vehículos poseen tres ejes, uno de dirección y dos motrices, con ruedas gemelas. El eje delantero soporta aproximadamente el 47% del peso de la unidad y el 32% del peso total cargado, mientras que los ejes traseros soportan el 53 y 68% respectivamente. (Cuesta, 2003)

Estos camiones mineros pueden circular por carreteras.

**2.2.1.2 Camión minero rígido fuera de carretera.** El Camión de Obras se ha proyectado para el rendimiento, diseñado para la comodidad y construido para una larga duración. El camión minero rígido se ha diseñado para acarreo de alta producción y bajo costo por tonelada en aplicaciones de minería y construcción. Ofrece una operación confiable de larga duración y una robusta construcción con fácil mantenimiento para garantizar larga duración con bajos costos de operación (Ver Figura 3).



**Figura 3.** Camión Minero Rígido Fuera de Carretera. (Smith, 2015)

Conocidos comúnmente como dumpers, son vehículos de transporte con caja basculante cuyas dimensiones y características sólo los hacen aptos para operar dentro de entornos de explotaciones mineras o grandes obras de construcción. El desarrollo de dumpers ha ido orientándose progresivamente hacia un incremento importante de su tamaño, con el objetivo de ofrecer una mayor eficiencia operativa. El recientemente estrenado Caterpillar 797f es, con diferencia, el mayor dumper del mundo con capacidad para transportar cargamentos de hasta 496 toneladas. (Caterpillar, 2012)

El Caterpillar 797f, con una capacidad de carga de 496 toneladas, es el mayor dumper del mundo. El modelo fue desarrollado por los ingenieros de la compañía bielorrusa en octubre de 2013, en virtud de un importante pedido para una empresa minera americana.

No obstante, las ventas del Caterpillar 797f para el mercado internacional no están programadas para comenzar hasta principios o mediados del 2014. (Caterpillar, 2012)

El camión dumper cuenta con una longitud de 20,6 m, una altura de 8,16 m, un ancho de 9,87 m, un peso en vacío de 360 T y ocho neumáticos Michelin de gran tamaño sin cámara. El vehículo integra dos motores diésel con turbocompresor de 16 cilindros, con una potencia de 2.332 CV cada uno que permiten alcanzar una velocidad máxima de 64 km/h, utilizando una transmisión electromecánica accionada por corriente alterna. (Caterpillar, 2012)

**2.2.1.3 Camión minero articulado para carretera o tracto camión.** Los camiones de volquete articulado se utilizan para mover la arena, el suelo, la grava, y la roca. Están entre las más recientes adiciones al sector de la construcción, con la mayoría de los adelantos y demandas ocurriendo durante las dos décadas anteriores. Un camión de volquete articulado también es útil para volcar material en un volquete, salva la redundancia de su nombre (Ver Figura 4).



**Figura 4.** Camión Minero Articulado o Tracto camión. (Navistar, 2015)

Este vehículo automotor que se desliza sobre ruedas, de construcción especialmente robusta, de corta distancia entre ejes, provisto de cabina de conducción, construidos exclusiva o esencialmente para remolcar, con un dispositivo para arrastrar semi-remolques (quinta rueda).

También se denominan tracto camiones o cabezas tractoras que son vehículos articulados compuestos por un motor de tracción y un tráiler con cierta capacidad de carga. El tractor y el tráiler son elementos separables, de manera que el éste primero puede ser usado como medio para remolcar otros tráileres o viceversa. De acuerdo con el tipo de conexión entre el tractor y el tráiler, pueden darse dos clasificaciones ya ser tráiler completo o semi-tráiler. Un tráiler completo es un tráiler que se encuentra soportado por un eje delantero y uno trasero y es halado por una barra de remolque. Por otro lado, el semi-tráiler no cuenta con el eje delantero de manera que es soportado directamente por el tractor. (Caterpillar, 2012)

**2.2.1.4 Camión minero articulado fuera de carretera:** El camión volquete articulado consiste en un camión con remolque con un marco articulado y un componente trasero para la descarga. Los fabricantes típicamente ofrecen las configuraciones de transmisión 4X4, 6X6 o 6X4 (Ver Figura 5).



**Figura 5.** Camión minero articulado dumper. (Volvo Equipment, 2014)

La primera unidad articulada puede remontarse hasta el año 1940. Las unidades fueron diseñadas para halar raspadores y más adelante fueron apareados en la parte inferior para los propósitos de descarga. Los fabricantes como Allis-Chalmers, Caterpillar, e Hitachi comenzaron a poner en marcha versiones de estos camiones transportadores para sus transportadores primarios de raspadores.

En 1950, los fabricantes comenzaron a ofrecer tractores con camiones reforzados sujetos a la parte posterior. La combinación del camión/tractor marca los principios tempranos de camión volquete articulado actual. (Cuesta, 2003)

El marco articulado del camión volquete articulado se ha convertido en una decisión popular entre los contratistas. Proporciona una fácil maniobrabilidad y los marcos del frente y traseros son separados fácilmente por un enganche oscilante, una característica que mantiene a las ruedas sobre la tierra y reduce al mínimo la tensión en el marco del camión. También, el camión volquete articulado tiene costos más bajos contribuidos a la construcción y a la operación. (Cuesta, 2003)

La cabina también ha experimentado varias mejoras para la máxima comodidad. Es también donde la mayor parte de los controles están contenidos.

La fuente de energía deriva del motor, o del conjunto de transmisiones, que está situado debajo de la cabina.

El chasis permite a la carga útil (de los materiales que son llevados) este permite a su vez equilibrar y distribuir la carga en el perímetro de la estructura. La parte trasera es también donde se localiza la hidráulica, una característica que permite que el camión volquete articulado sea levantado y descendido, y a veces, ser liberado. Los frenos y la suspensión también están situados en la parte posterior del camión volquete articulado, para ser controlados por los interruptores y las palancas dentro de la cabina.

Todos los camiones volquete articulados tienen una articulación de oscilación situado entre la cabina y el cuerpo del camión. Esto permite que el camión se mueva por separado del cuerpo.

El camión volquete articulado se diseña para la productividad máxima, lo cual hace mucho más eficiente que la mayoría del equipo cuando se trata de acarrear tierra, roca, y grava. Saliente a su éxito es la capacidad del operador de elegir una transmisión 4X4 o de seis-ruedas, dependiendo de las condiciones del terreno. Esta característica hace de los camiones volquetes articulados especialmente eficientes para el trabajo en arena o fango profundo. (Cuesta, 2003)

La técnica de dirección articulada permite dar vueltas más apretadas y un mejor movimiento, una característica especialmente importante dentro de áreas difíciles de

manejar. Los operadores pueden tener un mejor control de la maquinaria con el uso de los sistemas de retraso (frenos de escape, retardadores de transmisión).

**2.2.1.5 Camión minero subterráneo.** Este camión de volquete transportador de mina puede ser aplicado en trabajos subterráneos, como carreteras de minas. Este camión de volteo para mina subterránea es adecuado para transportar mineral, piedras y otro tipo de objetos. Por lo que este camión minero subterráneo puede usarse como equipo de transportación (Ver Figura 6).

Ben Thompson, Jefe de producto de la división *Underground Rock Excavación* de Atlas Copco (2014) explica: “Este camión está diseñado para trabajar en las mismas dimensiones de galería que los camiones de 50 y 60 toneladas, pero con una diferencia fundamental: su capacidad de transporte es de 85 toneladas, lo que supone un increíble aumento de la productividad gracias a la reducción del número de camiones y la relación de toneladas/kilómetros por hora”.



**Figura 6.** Camión Minero Subterráneo. (Smith, 2015)

**2.2.1.6 Camión minero subterráneo Caterpillar:** La marca atlas Copco (2014) hace hincapié en que el camión minero subterráneo también es rápido y fácil de maniobrar en rampas y cuestas. “Esto significa que se necesitan menos ciclos, lo que supone una reducción del costo del transporte en relación con la cantidad de material transportado. Y no solo eso”, añade, “este camión proporciona a las empresas mineras una forma más rentable de transportar minerales en la mina. Facilita la idea de sacar minerales más profundos mediante rampa en lugar de profundizar un pozo” (Ver Figura 7).

Por ejemplo el camión minero subterráneo MT85 de atlas copco, tiene una gran capacidad (sin perder su tamaño compacto) con sus 3,4 m de ancho y 3,5 m de alto, gracias a lo cual entra fácilmente en galerías de 6,0 x 6,0 m. A pesar de su longitud (14,0 m), tiene un radio de giro impresionante, de 44°, que se debe en gran parte a la dirección electrohidráulica del eje trasero y su maniobrabilidad máxima. (Caterpillar, 2005)



**Figura 7.** Camión minero subterráneo Atlas Copco. (Atlas Copco, 2014)

Este camión también ofrece un alto nivel de modularidad y opciones. La caja volcadora puede inclinarse tanto en el lateral del vehículo como en la parte trasera. También hay dos configuraciones de puerta trasera (con bisagras en la parte superior o inferior), tres alternativas de potencia del motor (535, 760 o 1.010 CV), además de

tracción a las cuatro o a las seis ruedas para satisfacer todas las necesidades de nuestros clientes o requisitos de la mina. (Finning, 2006)

### 2.3 Componentes de los camiones mineros

El camión minero subterráneo es un conjunto de partes y componentes que han sido diseñados y construidos con el fin de transportar materiales producto de la excavación en túneles de minería, para lugares adecuados para el acopio de dichos materiales.

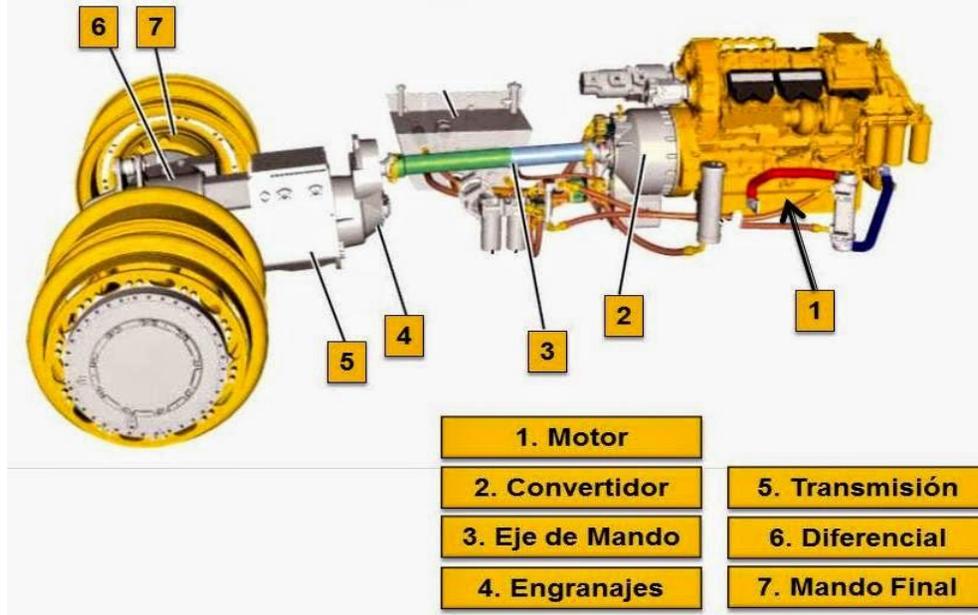
Estos equipos son vitales en la explotación minera, debido a su tamaño adecuado para túneles de sección desde 2.50 hasta 3.50 m, además que su capacidad de carga va desde las 7 hasta 60 toneladas.

Debido al trabajo pesado de estos equipos, nos enfrentamos a problemas de desgaste en componentes motrices como son los trenes de potencia y sus correspondientes engranajes.

Estos problemas también son ocasionados por la contaminación en los túneles, la mala operación, los tiempos prolongados de producción, incumplimiento de las rutinas de mantenimiento, entre otras.

Por todo lo anterior, este proyecto se enfatizará en el comportamiento de los lubricantes a base de boratos en los componentes del tren de potencia de un camión minero subterráneo.

Las partes que definen este sistema aparecen en la figura 8.



**Figura 8.** Componentes del Tren de Fuerza del Camión Minero Subterráneo. (Finning, 2006)

**2.3.1 Motor Diesel.** El motor del camión minero subterráneo es el encargado de transformar la energía térmica que le proporciona el combustible (ACPM generalmente) en energía mecánica que posteriormente utilizara para desplazarse.

Estos motores se llaman de combustión interna porque realizan su trabajo en el interior de una cámara cerrada mediante la aportación de calor producido al inflamarse el combustible.

En este caso la presión de los gases de la combustión y el calor generado en su interior, provocan el movimiento de un mecanismo que se aprovechara como fuente de energía. Este principio, utilizado desde finales del siglo XIX, continúa siendo el mismo que en la actualidad, aunque lógicamente mucho más avanzado en cuanto a diseño y tecnología.

El principio de los motores diésel fue muy modesto. Rudolf Diesel fue el inventor de este motor el cual lleva su nombre. Nació en París el año de 1858, y todavía adolescente en el año de 1872 se trasladó a Alemania donde cursó sus estudios de ingeniero. En una época en que estaban en pleno apogeo las experiencias con los motores de gas, publicó un folleto titulado (Teoría y proyecto de un motor racional destinado a substituir la máquina de vapor y los demás motores existentes). (Esquiús, 1999)

Esto ocurría por el año de 1892. Su patente de invención solicitada al (Kaiserlinchem Patentan) de Berlín decía textualmente:

El émbolo de trabajo comprime aire puro en un cilindro, de forma que la temperatura resultante de la compresión es mucho mayor que la temperatura de inflamación del combustible que se ha de emplear. Después de la compresión y a partir del punto muerto se efectúa la introducción gradual de combustible.

Su idea primitiva que consistía en emplear como combustible carbón finamente pulverizado, hubo de abandonarla debido a las grandes presiones a que tenía que inyectar el combustible.

Lo que consistía en aquella época en un problema de difícil solución.

Después y con la ayuda de la firma MAN, se consiguió construir un motor que funcionaba con combustible líquido, el cual era introducido con el auxilio de aire comprimido.

En seguida se comprobó que esta máquina tenía un mayor rendimiento que todas las conocidas en una cuantía de casi el doble.

A partir de 1901, cuando la construcción de estos motores empieza a ser comercial, se experimentan modificaciones muy importantes mediante las cuales se llegan a construir unidades de hasta 1000 CV por agrupación de varios cilindros. (Esquiús, 1999)

En 1902 se aplica el motor Diesel a la propulsión de un barco mercante, y en 1904 se lanza al agua el primer submarino equipado con este tipo de motor. Ocho años más tarde fallece, en trágico accidente, su inventor Rudolf Diesel.

En 1920 después de la guerra europea, se instala la primera inyección directa de combustible, es decir se suprime el compresor de aire, y es a partir de entonces cuando se inicia una era de continuo progreso del motor Diesel hasta nuestros días (ver Figura 9). (Paz, 2004)



**Figura 9.** Motor Diesel Electrónico Marca Caterpillar. (Caterpillar, 2015)

El motor Diesel es un motor de combustión interna que se puede definir como: El conjunto de elementos mecánicos que permite obtener energía a partir del estado térmico del fluido compresible que lo atraviesa, obtenido por un proceso de combustión que tiene lugar en el propio seno del fluido. (Esquiús, 1999)

Si el fluido operante en la máquina, se expande en una cámara estanca de volumen variable, produciendo el desplazamiento lineal alternativo de un embolo, y mediante un mecanismo de biela-manivela es transformado en movimiento de rotación de un eje, entonces estamos en presencia de un motor de combustión interna alternativo.

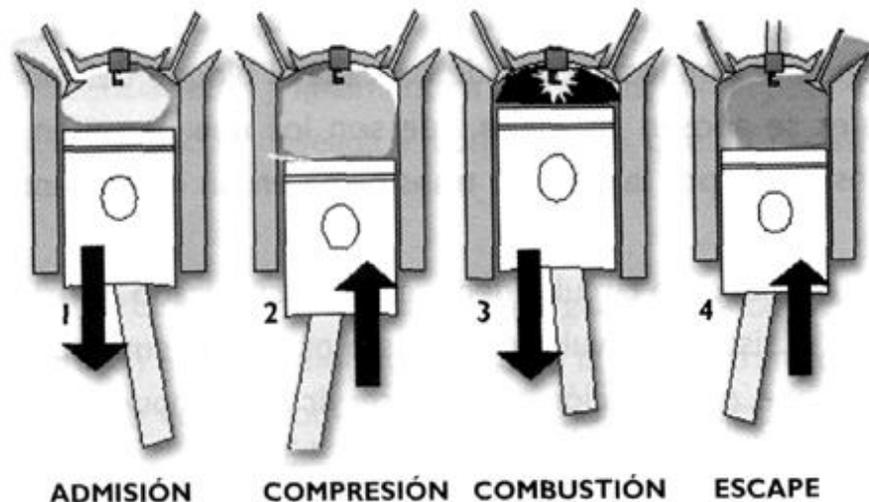
El motor de combustión interna alternativo en sus dos versiones, encendido provocado (MEP) y encendido por compresión (MEC) está formado por tres sistemas estructurales y un conjunto de sistemas auxiliares que permiten el correcto desarrollo de su ciclo de trabajo, a continuación, se relacionan cada uno de los sistemas del motor:

- Sistema soporte.
- Mecanismo pistón-biela-manivela
- Mecanismo de distribución de gases

**2.3.1.1 Principio de funcionamiento.** La mayoría de los motores de combustión interna trabajan con base en un ciclo de cuatro tiempos, cuyo principio es el ciclo termodinámico de Otto (con combustible gasolina o gas) y el ciclo termodinámico de Diésel (con combustible A.C.P.M.). Por lo tanto, su eficiencia está basada en la variación de la temperatura tanto en el proceso de compresión isentrópico 1, como en el calentamiento a volumen (Otto) o presión constante (Diésel).

El ciclo consiste en dos carreras ascendentes y dos carreras descendentes del pistón. Cada carrera coincide con una fase del ciclo de trabajo y recibe el nombre de la acción que se realiza en el momento (Ver Figura 10), así:

- Admisión
- Compresión
- Combustión
- Escape



**Figura 10.** Ciclos de Funcionamiento del Motor Diesel. (Esquiús, 1999)

Los motores de combustión interna tienen infinidad de aplicaciones en las industrias del planeta.

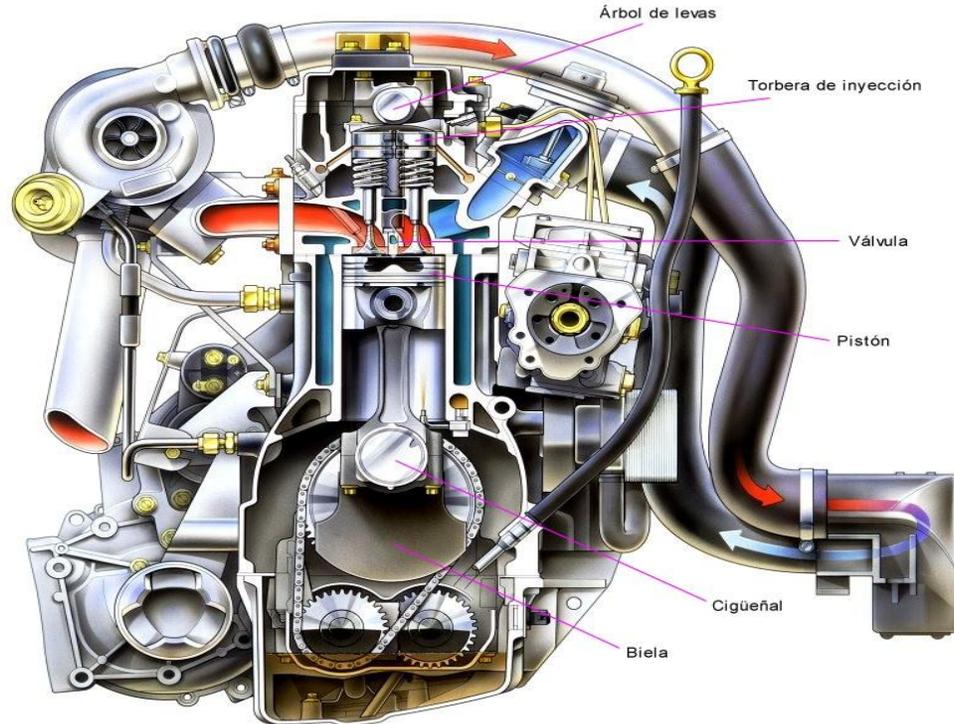
Ante este múltiple uso, conviene el estudio teórico y práctico de los principales motores de combustión interna. A pesar de que la tecnología de este tipo de motor tiene poco más de 100 años, son muchos los cambios que ya se han producido y muchos más los cambios aún por producir. Igualmente, resulta pertinente valorar el impacto ambiental del motor de combustión interna (MCI) como principal fuente energética de los agregados

agrícolas, dado por los niveles de emisión de sustancias tóxicas, de los gases de invernadero y de ruido durante su funcionamiento. Los MCI que mayor contaminación del medio ambiente provocan, son los motores a gasolina a pesar de ser menos visible sus emisiones a la atmósfera. Sumado a que en nuestro país poco se controla los niveles de emisión de sustancias tóxicas por los MCI, existiendo reservas sobre la regulación disponible para la disminución de los mismos. Tampoco, habitualmente se realizan controles de los niveles de ruido que emiten los MCI durante su funcionamiento, existiendo un gran número de vehículos que circulan por nuestras vías con altos niveles de ruido. Por lo que se debe hacer una invitación, para aplicar con mayor rigor las disposiciones sobre el cuidado y conservación del medio ambiente. (Hobson, 2002)

En un cilindro se comprime aire unas 16 veces su volumen inicial, quedando, por lo tanto, contenido este aire en muy poco espacio. Al hallarse de esta forma comprimido, el aire aumenta mucho su densidad, aumenta también la presión y la temperatura, llegando a alcanzar valores de 600°C. (Hobson, 2002)

Al final de esta compresión se inyecta dentro del cilindro un combustible pesado, normalmente (ACPM) o biodiesel, finamente pulverizado, el cual, al entrar en contacto con el aire muy caliente que se halla comprimido, produce la combustión, quemándose las partículas de combustible a medida que van entrando en la cámara. Al mismo tiempo que esto ocurre el émbolo se va moviendo, aumentando el volumen de la cámara de combustión, por lo que resulta que la presión se mantiene constante dentro del cilindro durante el tiempo que dura la combustión del combustible. (Hobson, 2002)

Por esta razón a estos motores también se les denomina motores de combustión a presión constante. En un principio estos motores, utilizaban aire comprimido para inyectar el combustible. Modernamente todo motor Diesel efectúa la inyección sin ayuda de aire comprimido, introduciéndose dentro del cilindro directamente por medio de unas bombas adecuadas, que son capaces de impulsar el ACPM a alta presión. A estas bombas se les llama bombas inyectoras (Ver Figura 11). (Esquiús, 1999)



**Figura 11.** Componentes del Motor Diesel. (Esquius, 1999)

La importancia del motor Diesel proviene que su rendimiento térmico es mayor que el de cualquier otro de los motores comerciales, originadores de movimiento. En el mundo se han construido motores Diesel con émbolos de diámetros que van desde 7.62 a 81.28cm y con velocidades de 84 a 4000 rpm produciendo desde 3 hasta 8500 bhp. El peso del motor por bhp varía de 1300 a 1700 kgf. Los motores de gran tamaño sirven como productores no costosos de potencia para las pequeñas comunidades en las que la inversión de capital no permite comprar una planta de vapor.

Los diversos tipos de motores Diesel en el mercado, no son radicalmente diferentes unos de otros, con la posible excepción del diseño de la cámara de combustión y del equipo de inyección.

El proceso de inyección en el motor diésel inicia antes del punto muerto superior y continuo por 30° de giro del cigüeñal, en los motores grandes, y 20° aproximadamente, en los pequeños de alta velocidad. (Ruiz, 2005)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 088
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

Es difícil establecer valores exactos porque los distintos diseñadores tienen objetivos diferentes y además, la duración de la inyección es influenciada por múltiples factores.

(Ruiz, 2005)

Estos motores se clasifican en:

- Motores De dos tiempos (2T): efectúan una carrera útil de trabajo en cada giro.
- Motores De cuatro tiempos (4T): efectúan una carrera útil de trabajo cada dos giros.

Existen los motores Diesel y gasolina, tanto en 2T como en 4T.

Según su sistema de alimentación se dividen en:

- Motores de aspiración Natural. (Paz, 2004)
- Motores turbo cargados o sobre alimentados. (Paz, 2004)

Según su construcción y posición de los pistones:

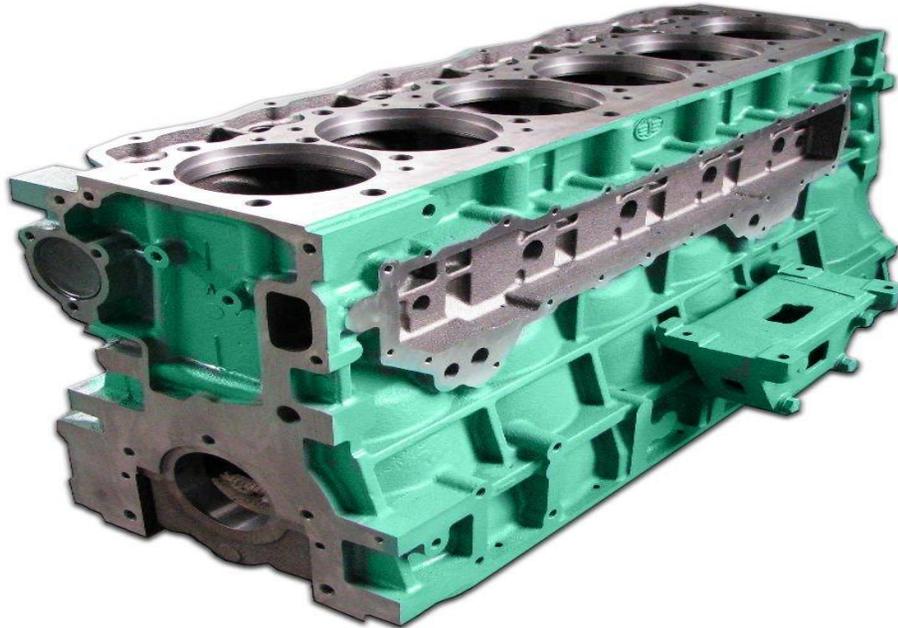
- Motores radiales.
- Motores en V
- Motores Transversales.
- Motores Lineales. (Estos son los más utilizados en la industria).

Según su sistema de inyección de combustible se clasifican en:

- Motores de inyección directa.
- Motores de Inyección Indirecta.

## 2.3.2 Componentes del motor Diesel

**2.3.2.1 Bloque.** Es la estructura básica del motor, en el mismo van alojados los cilindros, cigüeñal, árbol de levas, etc. Todas las demás partes del motor se montan en él. Generalmente son de fundición de hierro o aluminio. Pueden llevar los cilindros en línea o en forma de V. Lleva una serie de aberturas o alojamientos donde se insertan los cilindros, varillas de empuje del mecanismo de válvulas, conductos del refrigerante, los ejes de levas, apoyos de los cojinetes de bancada y en la parte superior lleva unos taladros donde se sujeta el conjunto de culata (Ver Figura 12). (Esquius, 1999)



**Figura 12.** Bloque de Motor Diesel. (www.volvoce.com, 2014)

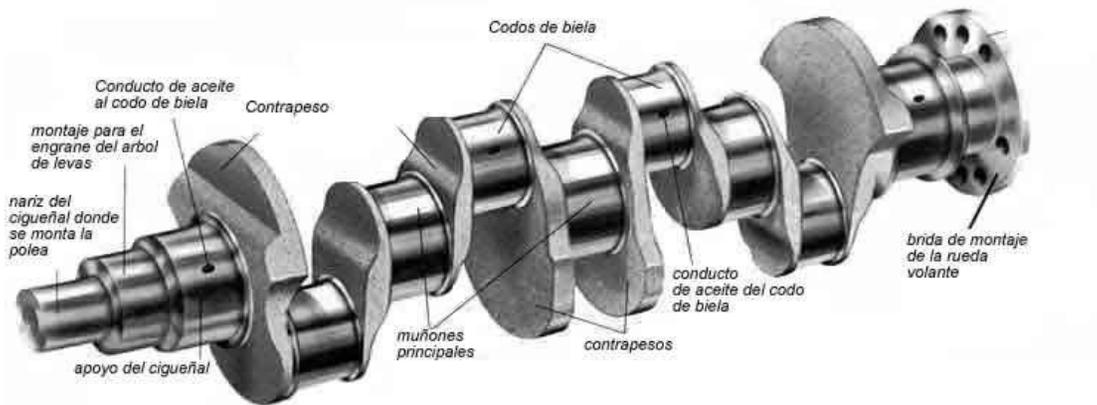
**2.3.2.2 Cigüeñal.** Es el componente mecánico que cambia el movimiento alternativo en movimiento rotativo. Está montado en el bloque en los cojinetes principales los cuales están lubricados (Ver Figura 13).

El cigüeñal se puede considerar como una serie de pequeñas manivelas, una por cada pistón. El radio del cigüeñal determina la distancia que la biela y el pistón puede moverse. Dos veces este radio es la carrera del pistón.

Podemos distinguir las siguientes partes:

- Muñequillas de apoyo o de bancada.

- Muñequillas de bielas.
- Manivelas y contrapesos.
- Platos y engranajes de mando.
- Orificios de engrase.



**Figura 13.** Cigüeñal. (Esquius, 1999)

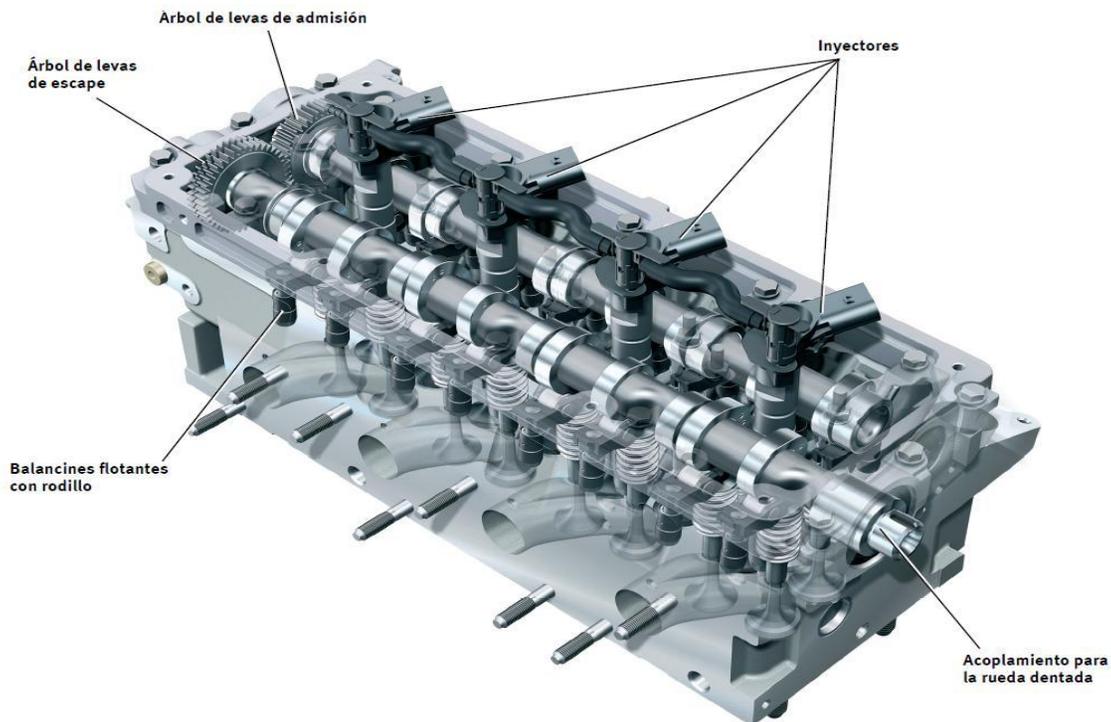
Una muñequilla es la parte de un eje que gira en un cojinete. Las muñequillas de bancada ocupan la línea axial del eje y se apoyan en los cojinetes de bancada del bloque. Las muñequillas de biela son excéntricas con respecto al eje del cigüeñal. Van entre los contrapesos y su excentricidad es igual a la mitad de la carrera del pistón.

Por cada muñequilla de biela hay dos manivelas. Los motores en V llevan dos bielas en cada muñequilla.

En un extremo lleva forjado y mecanizado en el mismo cigüeñal el plato de anclaje del volante y en el otro extremo va el engranaje de distribución que puede formar una sola pieza con él o haber sido mecanizado por separado y montado luego con una prensa. Algunos cigüeñales llevan un engranaje de distribución en cada extremo para mover los trenes de engranajes de la distribución.

Otra particularidad del cigüeñal es una serie de taladros de engrase. Tiene practicados los taladros, para que pase el aceite desde las muñequillas de biela a las de bancada. Como al taladrar quedan esos orificios en los contrapesos, se cierran con tapones, que se pueden quitar para limpiar dichos conductos. (Ruiz, 2005)

**2.3.2.3 Culata.** Es el elemento del motor que cierra los cilindros por la parte superior. Pueden ser de fundición de hierro o aluminio. Sirve de soporte para otros elementos del motor como son: Válvulas, balancines, inyectores, etc. Lleva los orificios de los tornillos de apriete entre la culata y el bloque, además de los de entrada de aire por las válvulas de admisión, salida de gases por las válvulas de escape, entrada de combustible por los inyectores, paso de varillas de empujadores del árbol de balancines, pasos de agua entre el bloque y la culata para refrigerar. Entre la culata y el bloque del motor se monta una junta que queda prensada entre las dos a la que llamamos habitualmente junta de Culata (Ver Figura 14).



**Figura 14.** Culata de Motor Diesel. (Finning, 2006)

**2.3.2.3 Pistones.** Es un embolo cilíndrico que sube y baja deslizándose por el interior de un cilindro del motor.

Son generalmente de aluminio, cada uno tiene por lo general de dos a cuatro segmentos. El segmento superior es el de compresión, diseñado para evitar fugas de gases. El segmento inferior es el de engrase y está diseñado para limpiar las paredes del cilindro de aceite cuando el pistón realiza su carrera descendente. Cualquier otro

segmento puede ser de compresión o de engrase, dependiendo del diseño del fabricante (Ver Figura 15). (May, 1998)

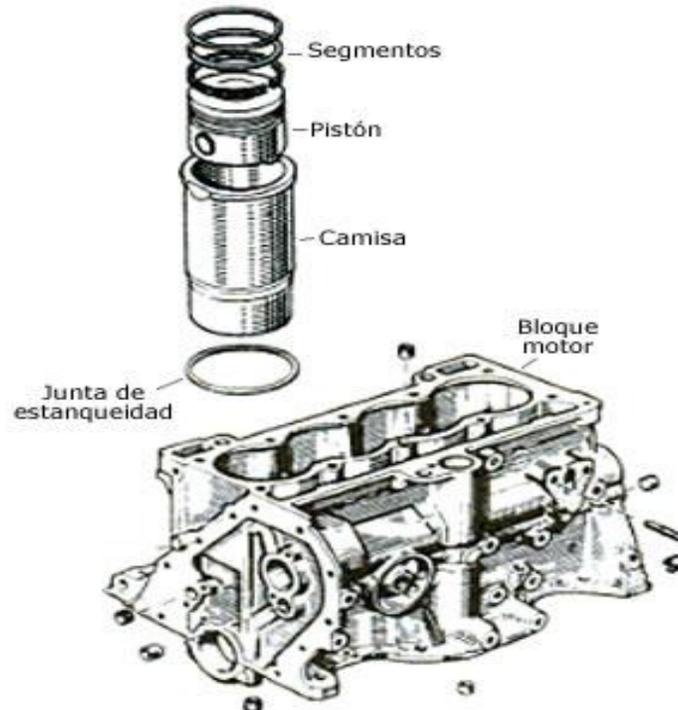
Llevan en su centro un bulón que sirve de unión entre el pistón y la biela. (May, 1998)



**Figura 15.** Modelos de pistones utilizados en Motores Diesel y Gasolina. (Paz, 2004)

**2.3.2.4 Camisas .** Son los cilindros por cuyo interior circulan los pistones. Suelen ser de hierro fundido y tienen la superficie interior endurecida por inducción y pulida. Normalmente suelen ser intercambiables para poder reconstruir el motor colocando unas nuevas, aunque en algunos casos pueden venir mecanizadas directamente en el bloque en cuyo caso su reparación es más complicada (Ver Figura 16).

Las camisas recambiables cuando son de tipo húmedo, es decir en motores refrigerados por líquido, suelen tener unas ranuras en el fondo donde insertar unos anillos tórico de goma para cerrar las cámaras de refrigeración, y en su parte superior una pestaña que se inserta en un rebaje del bloque para asegurar su perfecto asentamiento. (May, 1998)



**Figura 16.** Despiece de Camisa y Bloque de Motor. (Volvo Equipment, 2014)

**2.3.2.5 Segmentos o anillos de pistón.** Son Piezas circulares metálicas, auto tensadas, que se montan en las ranuras de los pistones para servir de cierre hermético móvil entre la cámara de combustión y el cárter del cigüeñal. Dicho cierre lo hacen entre las paredes de las camisas y los pistones, de forma que los conjuntos de pistón y biela conviertan la expansión de los gases de combustión en trabajo útil para hacer girar el cigüeñal. El pistón no toca las paredes de los cilindros. (May, 1998)

Este efecto de cierre debe darse en condiciones variables de velocidad y aceleración. Los segmentos impiden que se produzca una pérdida excesiva de aceite al pasar a la cámara de combustión, a la vez que dejan en las paredes de la camisa una fina capa de aceite para lubricar (Ver Figura 17).

Por tanto, los segmentos realizan tres funciones:

- Cierran herméticamente la cámara de combustión. (Paz, 2004)
- Sirven de control para la película de aceite existente en las paredes de la camisa.
- Contribuye a la disipación de calor, para que pase del pistón a la camisa.



**Figura 17.** Pistón y Anillos. (Caterpillar, 2015)

**2.3.2.6 Bielas.** Las bielas son las que conectan el pistón y el cigüeñal, transmitiendo la fuerza de uno al otro. Tienen dos casquillos para poder girar libremente alrededor del cigüeñal y del bulón que las conecta al pistón (Ver Figura 18). (May, 1998)

La biela debe absorber las fuerzas dinámicas necesarias para poner el pistón en movimiento y pararlo al principio y final de cada carrera. Asimismo, la biela transmite la fuerza generada en la carrera de explosión al cigüeñal.



**Figura 18.** Bielas de Motor. (Esquius, 1999)

**2.3.2.7 Cojinetes.** Se puede definir como un apoyo para una muñequilla. Debe ser lo suficientemente robusto para resistir los esfuerzos a que estará sometido en la carrera de explosión. (May, 1998)

Los cojinetes de bancada van lubricados a presión y llevan un orificio en su mitad superior, por el que se efectúa el suministro de aceite procedente de un conducto de lubricación del bloque.

Lleva una ranura que sirve para repartir el aceite mejor y más rápidamente por la superficie de trabajo del cojinete. También llevan unas lengüetas que encajan en las ranuras correspondientes del bloque las tapas de los cojinetes. Dichas lengüetas alinean los cojinetes e impiden que se corran hacia adelante o hacia atrás por efectos de las fuerzas de empuje creadas. La mitad inferior correspondiente a la tapa es lisa. Además de los de bancada, todos los motores llevan un cojinete de empuje que evita el juego axial en los extremos del cigüeñal. (Paz, 2004)

Otro tipo de cojinete es el usado en los ejes compensadores; es de forma de casquillo, de una sola pieza. El orificio de aceite coincide con el conducto de lubricación del bloque (Ver Figura 19). (May, 1998)



**Figura 19.** Casquetes o Cojinetes. (Esquiús, 1999)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 088
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

**2.3.2.8 Válvulas.** Las válvulas se clasifican en:

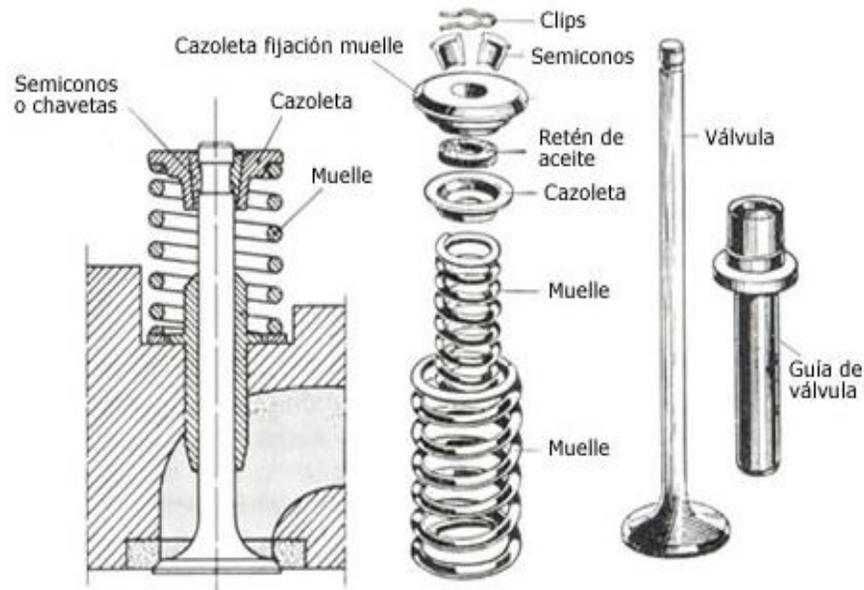
- Válvulas de admisión.
- Válvulas de escape.

Las válvulas abren y cierran las lumbreras de admisión y escape en el momento oportuno de cada ciclo. La de admisión suele ser de mayor tamaño que la de escape.

En una válvula hay que distinguir las siguientes partes (Ver Figura 20):

- Pie de válvula.
- Vástago.
- Cabeza.

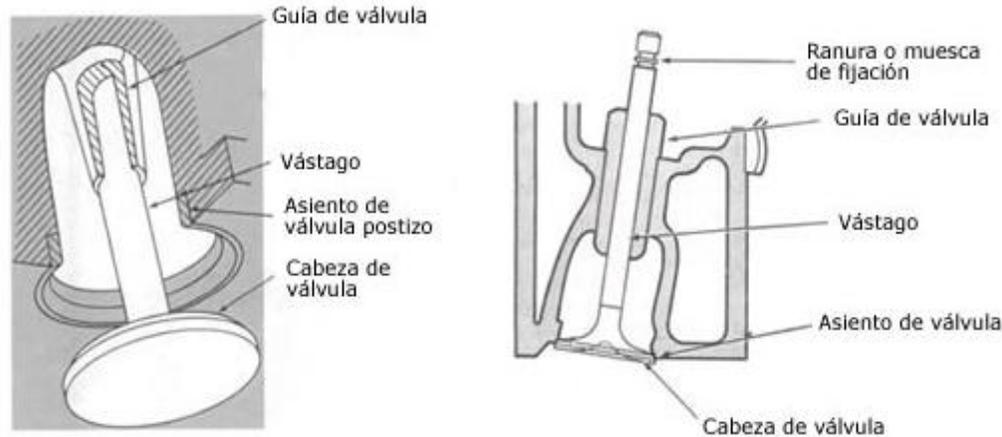
La parte de la cabeza que está rectificada y finamente esmerilada se llama cara y asienta sobre un inserto alojado en la culata. Este asiento también lleva un rectificado y esmerilado fino. El rectificado de la cara de la válvula y el asiento se hace a ángulos diferentes. La válvula siempre es rectificada a  $\frac{3}{4}^\circ$  menos que el asiento. Esta diferencia o ángulo de interferencia equivale a que el contacto entre la cara y el asiento se haga sobre una línea fina, proporcionando árbol de levas de un motor diesel un cierre hermético en toda la periferia del asiento. Cuando se desgaste el asiento o la válvula por sus horas de trabajo, este ángulo de interferencia varía y la línea de contacto se hace más gruesa y, por tanto, su cierre es menos hermético. De aquí, que de vez en cuando haya que rectificar y esmerilar las válvulas y cambiar los asientos. Las válvulas se cierran por medio de resortes y se abren por empujadores accionados por el árbol de levas. La posición de la leva durante la rotación determina el momento en que ha de abrirse la válvula. Las válvulas disponen de una serie de mecanismos para su accionamiento, que varía según la disposición del árbol de levas. Como partes no variables de los mecanismos podemos señalar: La guía, que va encajada en la culata del cilindro y su misión consiste en guiar la válvula en su movimiento ascendente y descendente para que no se desvíe. (Paz, 2004)



**Figura 20.** Válvulas y sus demás componentes. (May, 1998)

**2.3.2.9 Rotador de válvulas.** Cuyo dispositivo hace girar la válvula unos cuantos grados cada vez que ésta se abre. Tiene por objeto alargar la vida de la válvula haciendo que su desgaste sea más uniforme y reduciendo la acumulación de suciedad en la cara de la válvula y el asiento y entre el vástago y la guía (Ver Figura 21).

Para abrir las válvulas se utiliza un árbol de levas que va sincronizado con la distribución del motor y cuya velocidad de giro es la mitad que la del cigüeñal; por tanto, el diámetro de su engranaje será eje de balancines de un motor Diesel de un diámetro doble que el del cigüeñal. Asimismo, según su situación varía el mecanismo empujador de las válvulas.



**Figura 21.** Asiento y Guía de Válvula. (Finning, 2006)

**2.3.2.10 Árbol de levas.** El árbol de levas o eje de levas es el órgano del motor que regula el movimiento de las válvulas de admisión y de escape (Ver Figura 22).

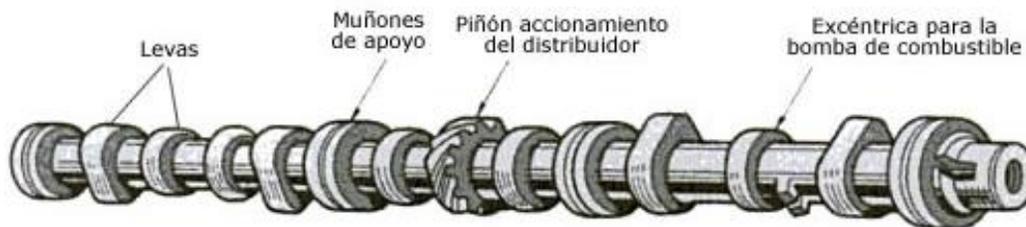
En la práctica, se trata de un árbol dotado de movimiento rotativo, sobre el cual se encuentran las levas o excéntricas que provocan un movimiento oscilatorio del elemento causante de la distribución.

El elemento que provoca la distribución, cuando está sujeto a un movimiento rectilíneo de traslación recibe el nombre de empujador, centrado o desviado según que su eje encuentre o no al eje de rotación de la leva. Cuando al mismo tiempo cumple un movimiento oscilante de rotación alrededor de un perno toma el nombre de balancín. El árbol de levas manda las válvulas en la apertura y las guía en el cierre, en el sentido de que el asentamiento se obtiene mediante la acción de muelles que tienden a mantener las válvulas cerradas, por lo que cada válvula se cierra según la ley impuesta por el perfil de la leva, pero por acción del muelle. Los casos de regulación desmodrómica, en los que el movimiento de la válvula está regulado por excéntricas en la apertura y en el cierre al objeto de evitar fatigas de los muelles, son muy raros, además de costosos y complejos. (May, 1998)

Las posibles disposiciones en cuanto a los sistemas de regulación del árbol de levas son diversas en función de la constitución del motor y de sus prestaciones. Sobre los primeros vehículos el árbol de levas estaba dispuesto lateralmente y sólo mandaba las válvulas de escape. Las válvulas de admisión eran automáticas y se abrían por depresión. Posteriormente en 1903 fue introducido un segundo árbol de levas en el

bloque para regular también las válvulas de admisión. Las válvulas fueron siempre laterales y accionadas por un empujador.

Con la solución del árbol de levas en el bloque, sencillo o doble, la lubricación fue simplificada y el mando del árbol quedó resuelto con un sencillo engranaje. No obstante, las válvulas laterales no permitían relaciones de compresión elevadas ni buenos rendimientos volumétricos. Esto obligó a los constructores a adoptar, en gran escala, después de 1910, los balancines y a colocar las válvulas en cabeza. Sin embargo, con esta solución el peso de los empujadores, las varillas y los balancines era notable. Por otra parte, el árbol de levas en cabeza había sido incorporado ya en 1903 a un motor de automóvil del inglés Mandslay y fue adoptado en serie por la Isotta Fraschini en 1905 sobre el modelo D 100 hp. (May, 1998)



**Figura 22.** Árbol de Levas. (May, 1998)

Cuando el árbol de levas es lateral el mecanismo empujador consta de leva, taqué, varilla, balancín y eje de balancines.

Cuando el árbol de levas va en cabeza la leva actúa directamente sobre un cajetín cilíndrico.

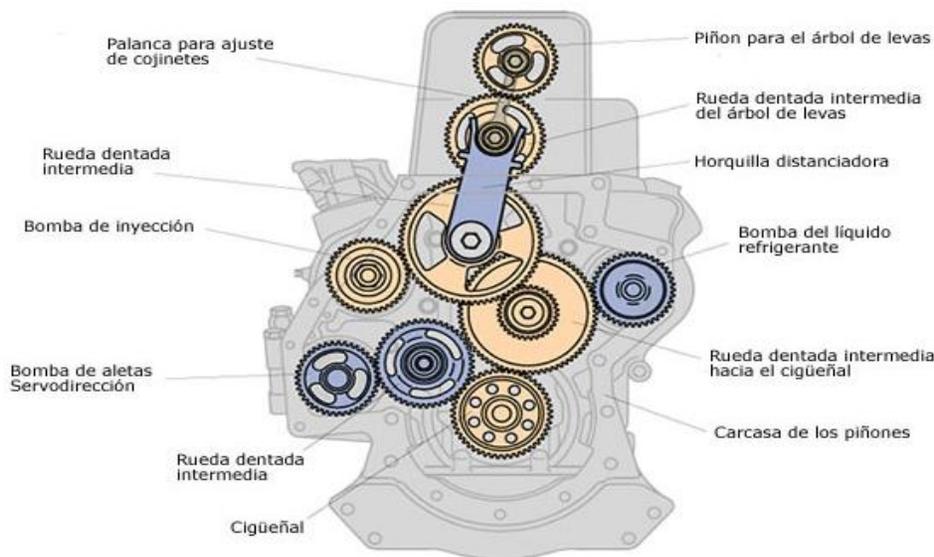
También en otros motores de cuatro válvulas por cilindro la leva actúa directamente sobre un rodillo de un balancín en forma de horquilla. El principio es el mismo que el de levas laterales con la diferencia que se ha abandonado la varilla de empuje.

**2.3.2.11 Engranajes de distribución.** Conduce los accesorios y mantienen la rotación del cigüeñal, árbol de levas, eje de leva de la bomba de inyección ejes compensadores en la relación correcta de desmultiplicación (Ver Figura 23).

El engranaje del cigüeñal es el engranaje motriz para todos los demás que componen el tren de distribución, por lo que deben de estar sincronizados entre sí, de forma que coincidan las marcas que llevan cada uno de ellos.

Los motores diésel casi todos llevan el accionamiento por transmisión rígida, ya que es el sistema más seguro. Es necesario que los piñones de distribución vayan señalados para poner en fase al cambiar cualquier engranaje en caso de avería.

En estos motores un fallo en ella puede provocar graves desperfectos al ser prácticamente nulo el espacio existente entre las válvulas y el embolo. Cuando este se halla en el punto muerto superior; momento en que están cerradas o solo unas décimas abiertas si es el momento de cruce. En caso distinto chocaría una pieza con otra con la rotura de la parte más débil. (Esquiús, 1999)



**Figura 23.** Engranajes de Distribución del Motor. (Caterpillar, 2015)

**2.3.2.12 Dispositivos anti vibración.** En un motor se originan dos tipos de vibraciones, a consecuencia de las fuerzas creadas por la inercia de las piezas giratorias y de la fuerza desarrollada en la carrera de explosión.

- Vibraciones verticales.
- Vibraciones torsionales

En todos los motores se producen las vibraciones torsionales, por la torsión momentánea debida a la fuerza desarrollada en la carrera de explosión y su recuperación en el resto del ciclo.

Aunque el volante se diseña con suficiente tamaño y masa, para que su inercia mantenga un giro uniforme, absorbiendo energía en los impulsos giratorios y

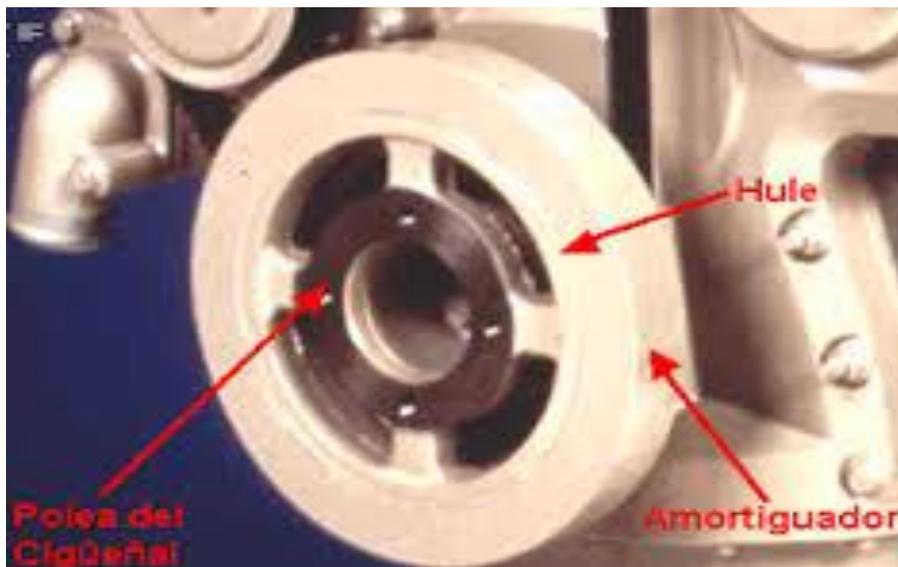
devolviéndola en el resto del ciclo; no evita que el cigüeñal se retuerza en esos momentos de aceleración (Ver Figuras 24 y 25).

Por ello se utiliza otro dispositivo en el otro extremo del cigüeñal, llamado amortiguador de vibración que tiene por objeto crear una fuerza torsión al igual y de sentido contrario a la que sufre en el instante de la explosión, para que sus efectos se anulen.

Hay dos tipos de amortiguadores o dámper:



**Figura 24.** Polea Dámper de Motor. (Caterpillar, 2015)



**Figura 25.** Corte Interior del damper. (May, 1998)

El primero utiliza como material amortiguador el caucho. Los cambios de par del cigüeñal son absorbidos por él y la energía es disipada en forma de calor. Por ello, una manera de comprobar si funciona bien un dámper es notar si está más caliente que el resto de las piezas del motor que le rodean.

El amortiguador tipo viscoso consta esencialmente de una corona pesada, alojada en una carcasa fijada a un extremo del cigüeñal, pudiéndose mover libremente dentro de ella al estar suspendida en un fluido (silicona). Esta corona tiende a oponerse a cualquier cambio súbito de velocidad, transmitiendo esta resistencia a través del fluido a la carcasa y por tanto al cigüeñal, contrarrestando o amortiguando la vibración torsional. (May, 1998)

#### **2.4 Sistemas auxiliares del motor Diesel**

- Sistema de lubricación.
- Sistema de refrigeración.
- Sistema de alimentación de combustible.
- Sistema de renovación de la carga.
- Sistema de encendido.

Todos los motores de combustión interna y, por lo tanto, también el motor diésel, transforman la energía calorífica que tiene el combustible en energía mecánica. El combustible desarrolla su energía en el cilindro y el motor la transmite al extremo del cigüeñal. Pero existen pérdidas de calor a través de las paredes del cilindro y que los rozamientos y las resistencias que ofrecen al movimiento las piezas del motor, tales como los cilindros, bielas, entre otros, absorben gran parte de la energía que produce el combustible; por lo cual en el cigüeñal no se aprovecha toda la energía que el combustible ha desarrollado en el cilindro.

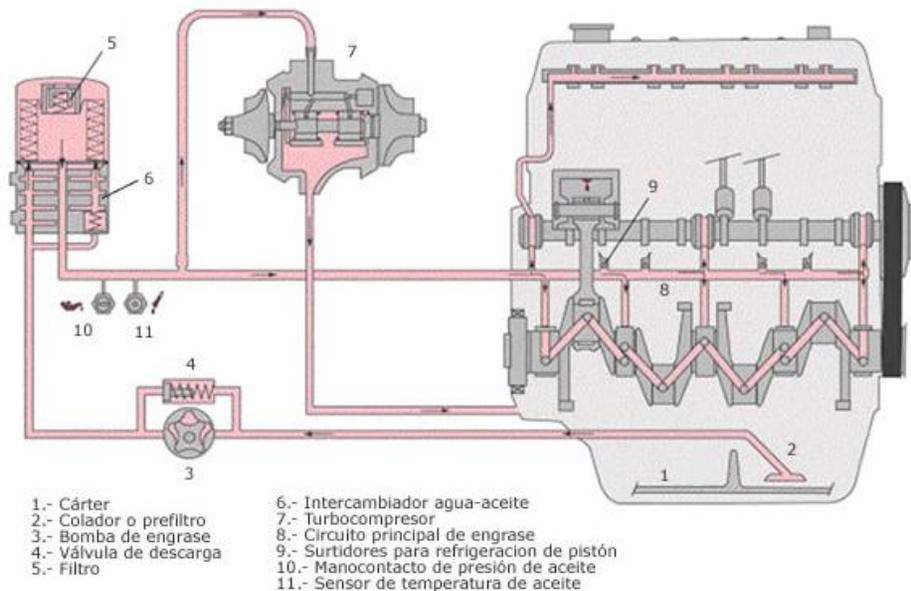
Por todos estos fenómenos químicos y físicos que se presentan durante el trabajo del motor diésel, debemos acudir a otros mecanismos auxiliares que ayuden a minimizar el desgaste, las altas temperaturas de operación, la fricción entre componentes internos y en efecto se han desarrollado varios sistemas auxiliares que ayudan a que el motor diésel pueda operar de forma segura y bajo condiciones óptimas; estos sistemas auxiliares son los siguientes: Sistema de lubricación, sistema de refrigeración, Sistema

de turbo alimentación y sistema de inyección de combustible, los cuales analizaremos de forma breve a continuación. (May, 1998)

**2.4.1 Sistema de Lubricación.** Las diversas partes del motor se lubrican con aceite a presión que envía la bomba. El aceite llega a esas partes mediante tubos, conductos, agujeros y ranuras que, junto con la bomba, filtros y válvulas para el aceite forman el sistema de lubricación (Ver Figura 26).

Las partes principales del motor, como los cojinetes del cigüeñal, tienen lubricación positiva y reciben directamente el aceite a presión; también se dice que tienen lubricación a presión. Otras piezas se lubrican por salpicado; en este caso, se lanza el aceite en forma de chorro mediante un barrenado, una boquilla o tubo. Los engranes de sincronización de muchos motores se lubrican en esta forma. (Hobson, 2002)

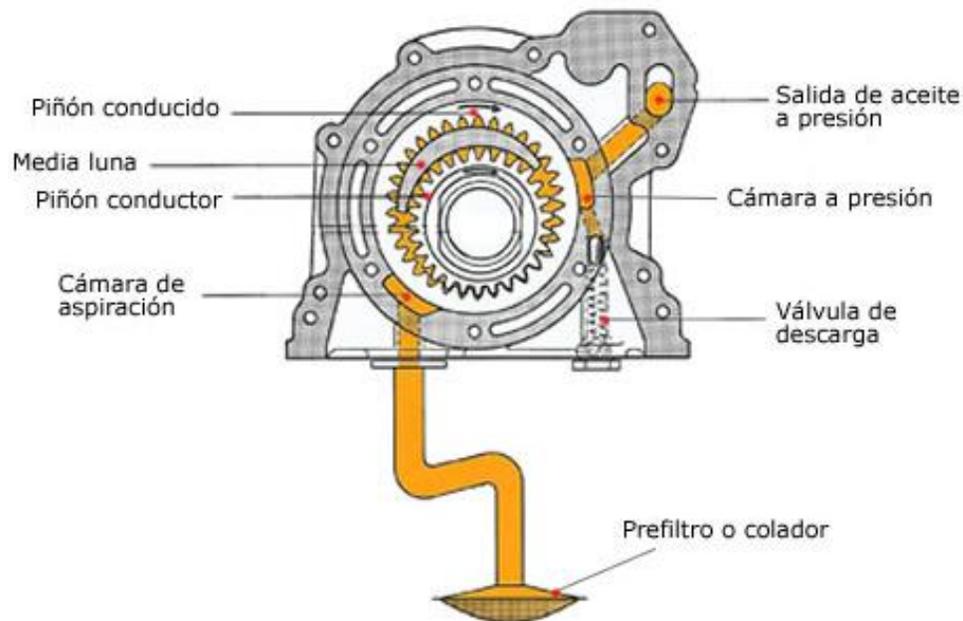
El aceite lubricante que circula por el motor desempeña cierto número de funciones que son: lubricar las piezas móviles para reducir el desgaste, lubricar las piezas móviles para lograr que las pérdidas de potencia por fricción sean mínimas, actuar como enfriador para disipar el calor de las piezas del motor, absorber los choques entre los cojinetes y otras piezas, con lo cual se disminuye el ruido y se aumenta la duración del motor, formar un buen sello entre los anillos de pistón y la pared de los cilindros, actuar como agente limpiador. (May, 1998)



**Figura 26.** Sistema de Lubricación Motor Diesel. (Víctor, 2015)

### 2.4.1.1 Componentes del Sistema de Lubricación.

- Bomba de Aceite:** Está localizada en el fondo del motor en el cárter del aceite. Su misión es bombear aceite para lubricar cojinetes y partes móviles del motor. La bomba es mandada por un engranaje, desde el eje de levas hace circular el aceite a través de pequeños conductos en el bloque (Ver Figura 27).  
 El flujo principal del aceite es para el cigüeñal, que tiene unos taladros que dirigen el lubricante a los cojinetes de biela y a los cojinetes principales. Aceite lubricante es también salpicado sobre las paredes del cilindro por debajo del pistón.



**Figura 27.** Bomba de Lubricación del Motor. (Finning, 2006)

- Filtro de Aceite:** En los motores diésel se utilizan uno o más filtros de aceite. Por ejemplo, en un motor puede haber un filtro de fluido pleno y uno de derivación; en otros; puede haber dos o más filtros de flujo pleno conectados en serie.  
 Durante el funcionamiento del motor se mezclan aceite con partículas de carbón, polvo y metal. Los filtros mantienen limpio el aceite porque retienen las impurezas que podrían pasar por los conductos para aceite hasta las superficies de apoyo y dañar los cojinetes, muñones y otras superficies.
- Enfriador de Aceite:** En algunos motores, el enfriador se monta en un lado del bloque, tiene el elemento o núcleo dentro de las camisas de agua y es parte del sistema de enfriamiento. En otros motores el enfriador es un componente

separado. El enfriador se sujeta con tornillos en una superficie maquinada en un lado del bloque; esa superficie se utiliza para la caja del filtro de aceite en motores que no tienen enfriador; cuando lo tienen, hay una superficie para montaje del filtro en el cuerpo del enfriador. Hay perforaciones en el bloque, el cuerpo del enfriador y la caja del filtro, que permiten que el aceite enviado por la bomba pase por el enfriador, por el filtro y luego por la galería principal de aceite en el bloque. (May, 1998)

Los tubos y mangueras que conectan el enfriador con el sistema de enfriamiento del motor se instalan en frente del enfriador. El líquido refrigerante entra al enfriador, pasa por los tubos del mismo y retorna al sistema de enfriamiento después de absorber el calor del aceite.

- **Boquillas enfriadoras de los Pistones:**

En la parte inferior del bloque de cilindros están instaladas varias boquillas según el número de pistones. Un tornillo hueco tipo banjo se instala en un barreno taladrado en el bloque en la galería de aceite para la boquilla de enfriamiento. El tornillo sujeta el cuerpo de la boquilla en el bloque y tiene perforaciones para el paso de aceite que viene de la galería. (May, 1998)

**2.4.2 Aceites Lubricantes para motores Diesel.** En este caso se suelen necesitar aceites bastantes viscosos. Para los motores muy grandes de un diámetro interior del cilindro superior a 50 cm es adecuado un aceite SAE 50, y SAE 40 cuando dicho diámetro es inferior al valor mencionado. (Albarracin, 2000)

El empleo de estos aceites está sujeto a posibles modificaciones cuando se presentan temperaturas que caen fuera de la gama normal o en el caso de motores de condiciones mecánicas muy deficientes. En algunos casos de motores grandes que funcionan a temperaturas muy bajas puede recurrirse a un aceite ligero para facilitar el arranque mediante la reducción del frotamiento de los pistones, pero si el motor funciona durante un periodo de tiempo bastante largo los cilindros deben lubricarse con el aceite de la viscosidad especificada, aunque sustituyéndolo antes de pararlo con el más ligero, con objeto de preparar el cilindro para la próxima puesta en marcha.

Ello se debe a que, aun con temperaturas ambientes bajas, la de los gases de combustión (1100 a 1375 ° C) no se altera, y durante la carrera de explosión el aceite demasiado ligero se evapora y la superficie queda seca durante la carrera ascendente del pistón. Si para el arranque hay que emplear un aceite ligero, es mejor diluir el más viscoso que emplear una fracción ligera, ya que en el primer caso el aceite más pesado permanece adherido a la pared del cilindro cuando la fracción ligera de aceite se evapora, mientras que, en el segundo, la pared se verá privada de todo el lubricante. En algunos motores grandes que carecen de conductos de alimentación de aceite puede ser necesario emplear un SAE 30 para asegurar la distribución adecuada del lubricante. (Albarracin, 2000)

La velocidad de alimentación variara con el tamaño y tipo de motor, con el número de puntos de alimentación del lubricante y con las condiciones de funcionamiento.

Como no es posible dar unas recomendaciones de tipo general, lo mejor es consultar al fabricante en cada caso concreto.

Durante el periodo de funcionamiento de los motores diésel grandes debe emplearse un aceite de un número más bajo que el especificado, alimentándolo a mayor velocidad para compensar su menor viscosidad y arrastrar las partículas de metal que se han desprendido del revestimiento del cilindro y de los segmentos. (Albarracin, 2000)

En muchos motores que hoy funcionan con aceites minerales puros, se reduce considerablemente el desgaste de los anillos y de las camisas de cilindros empleando un tipo de aceite detergente. Al principio y al final de la carrera, especialmente en el extremo que más se acerca a la cámara de combustión, las condiciones son las de lubricación por película semifluida, y es precisamente en estas condiciones en que los aceites para trabajos duros dan los mejores resultados.

El desgaste de las camisas de los cilindros suele considerarse como normal si no excede 0,1 mm por cada 1000 horas, cuando se emplean camisas y anillos de fundición de hierro. Sin embargo, se han registrado casos de desgaste del orden de tan solo 0.037mm por 1000 horas en camisas de cilindros de motores de dos tiempos, y de 0,025 mm por 1000 horas en las de los motores de cuatro tiempos. (Hobson, 2002)

Una de las causas más corrientes del desgaste intenso es el funcionamiento a una temperatura demasiado baja, y a menos que sea inevitable, las temperaturas de la camisa de agua nunca deben ser inferiores a 70° C. (Hobson, 2002)

El empleo de un aceite detergente es aconsejable también para motores diésel de elevada velocidad si se desea minimizar el desgaste en los anillos de pistón. Este tipo de aceite al que corresponde la designación DG de la API y de la SAE, es el que se emplea normalmente en dichos motores.

Muy raras veces es necesario emplear un aceite más viscoso que el SAE 40, y las fuerzas armadas norteamericanas y británicas emplean el SAE 30 para climas templados y el SAE 10 para el funcionamiento en condiciones ambientales frías. (Hobson, 2002)

La formación de barnices en el pistón y el gomado de los anillos superiores pueden ser debidos a una sobrealimentación o a la descomposición a elevada temperatura del aceite lubricante, como ocurre también en los motores de gasolina, pero la causa principal suele ser la combustión incompleta del combustible. Como el tiempo de que se dispone para la combustión es muy breve, es esencial emplear un combustible de buenas propiedades del tipo ACPM (aceite combustible para motores). Los efectos de una combustión inadecuada también aumentan el desgaste de anillos y pistones. (Hobson, 2002)

El efecto de un elevado contenido de azufre en un combustible que, por lo demás es adecuado, sigue siendo motivo de debate, pero generalmente se recomienda que se empleen los llamados aceites para condiciones muy severas o (*super-duty*) clasificación DS de la API que se preparan especialmente para esta finalidad siempre que se quemee un combustible que contenga más del 0,5% del azufre en un motor de elevada velocidad.

El periodo de cambio de aceite oscilara entre 250 y 2000 horas. (De 1600 a 8000 km), según la naturaleza del servicio a que se destine, la limpieza y otras condiciones.

Se recomienda la filtración en derivación del aceite durante el servicio, y para evitar la entrada de partículas grandes en los cojinetes debe emplearse también un filtro de paso completo. (Finning, 2006)

#### **2.4.2.1 Recomendaciones de aceites para motores Diesel**

- **CJ-4:** Vigente para motores diésel de alta velocidad con ciclos de cuatro tiempos, diseñados para cumplir las normas de emisiones de gases de escape para

modelos de automóviles en carretera del año 2010 y las normas demisiones Tier 4 para vehículos extravíaes, así como para modelos de motores diésel anteriores. (Hobson, 2002). Estos aceites están formulados para su utilización en todas las aplicaciones con combustibles diésel con un contenido de azufre de hasta 500 ppm. (0.05 % en peso). Sin embargo, el uso de estos aceites con combustibles con contenido de azufre mayor a 15 ppm. (0.0015 % en peso) puede afectar a la durabilidad de los sistemas de pos tratamiento de los gases de escape y/o al intervalo de cambio del aceite. (Hobson, 2002)

Los aceites CJ-4 son especialmente eficaces en el mantenimiento de la durabilidad del sistema de control de emisiones cuando se emplean filtros de partículas y otros sistemas avanzados de pos tratamiento de los gases de escape. La protección es óptima para el control de la contaminación del catalizador, bloqueo de filtros de partículas, desgaste del motor, formación de depósitos en pistones, estabilidad a baja y alta temperatura, propiedades dispersantes del hollín, espesamiento debido a la oxidación, formación de espuma y pérdida de viscosidad debido al cizallamiento. Los aceites API CJ-4 superan los niveles de prestaciones API CI-4 con CI-4 PLUS,

**CI-4, CH-4, CG-4 y CF-4**, pueden ser utilizados eficazmente en motores que requieran estas categorías de servicio API. Si se utiliza un aceite nivel CJ-4 con combustibles que contengan más de 15 ppm de azufre, consulte al fabricante del motor para conocer el intervalo de mantenimiento. (Albarracin, 2000)

- **CI-4 Vigente:** Se comenzó a utilizar en el año 2002. Para motores diésel de alta velocidad con ciclos de cuatro tiempos, diseñados para cumplir con las normas de emisiones de gases de escape del año 2004 implementadas en el año 2002. Los aceites CI-4 están formulados para mantener la durabilidad del motor cuando se emplean sistemas de recirculación de gases de escape, y están diseñados para ser utilizados con combustibles diésel con un contenido en azufre de hasta 0.5 % en peso. Puede utilizarse en lugar de aceites CD, CE, CF-4, CG-4, y CH-4. Algunos aceites CI-4 también pueden cualificarse como CI-4 PLUS.
- **CH-4 Vigente:** Se comenzó a utilizar en el año 1998. Para motores de alta velocidad con ciclos de cuatro tiempos, diseñados para cumplir las normas de

emisiones de gases de escape del año 1998. Los aceites CH-4 están específicamente formulados para su uso con combustibles diésel con un contenido en azufre de hasta 0.5 % en peso. Puede utilizarse en lugar de aceites CD, CE, CF-4 y CG-4. (Instituto Americano del Petróleo, 2012)

- **CG-4 Obsoleto:** Se comenzó a utilizar en 1995. Para motores de trabajo severo, alta velocidad y ciclos de cuatro tiempos que utilizan combustibles con menos de 0.5 % de azufre en peso. Los aceites CG-4 se requieren para motores que cumplen las normas de emisiones de gases de escape del año 1994. Puede utilizarse en lugar de aceites CD, CE y CF-4.
- **CF-4 Obsoleto:** Se comenzó a utilizar en el año 1990. Para motores de alta velocidad, con ciclos de cuatro tiempos, aspiración natural y turbo comprimidos. Puede utilizarse en lugar de aceites CD y CE.
- **CF-2 Obsoleto:** Se comenzó a utilizar en el año 1994. Para motores de trabajo severo y ciclos de dos tiempos. (Albarracin, 2000)  
Puede utilizarse en lugar de aceites CD-II.

CE Obsoleto ADVERTENCIA: No es adecuado para la mayoría de los motores de automóviles diésel fabricados después del año 1994. (Paz, 2004)

CD-II Obsoleto ADVERTENCIA: No es adecuado para la mayoría de los motores de automóviles diésel fabricados después del año 1994.

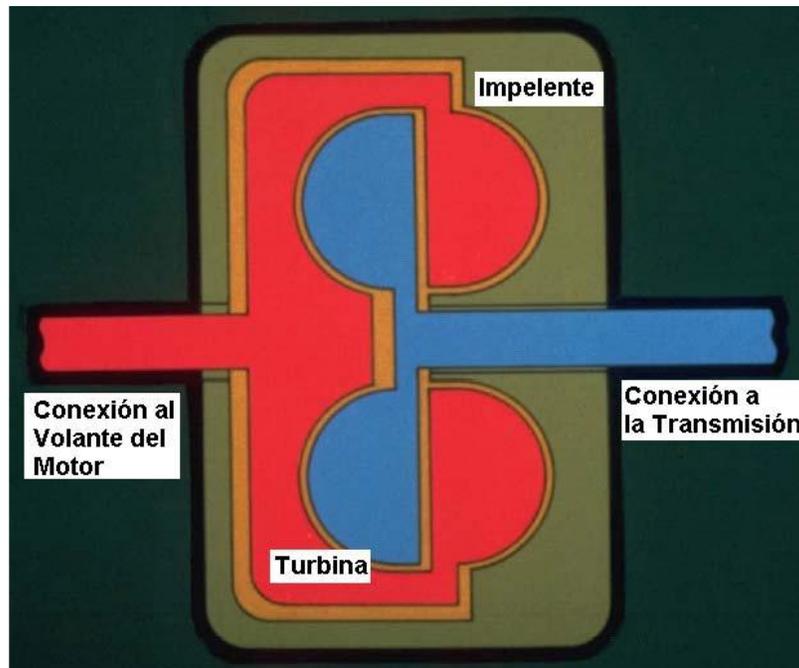
CD Obsoleto ADVERTENCIA: No es adecuado para la mayoría de los motores de automóviles diésel fabricados después del año 1994.

CC Obsoleto ADVERTENCIA: No es adecuado para la mayoría de los motores de automóviles diésel fabricados después del año 1990.

CB Obsoleto ADVERTENCIA: No es adecuado para la mayoría de los motores de automóviles diésel fabricados después del año 1961.

CA Obsoleto ADVERTENCIA: No es adecuado para la mayoría de los motores de automóviles diésel fabricados después del año 1959. (Hobson, 2002)2.5 Convertidor de torque

**2.5.1 Funcionamiento.** Es un acoplamiento fluido, que, consiste en una Impelente y una turbina con alabes internos colocados uno frente al otro. La impelente, llamada en ocasiones la bomba está fijada al volante del motor y la Turbina está fijada al eje de salida con conexión a la transmisión (Ver Figuras 28 y 29).



*Figura 28.* Esquema de conexión del Convertidor de Torque. (Caterpillar, 2005)

La impelente es el miembro impulsor y la Turbina es el miembro impulsado.

Cuando comienza a girar el motor, la impelente comienza a girar también y empuja aceite desde su centro hacia el borde exterior. La fuerza centrífuga hace que el aceite golpee las paletas de la Turbina. La fuerza y el torque que genera el aceite hacen que la Turbina comience a girar en su eje, transmitiendo la potencia necesaria para mover la máquina. (Caterpillar, 2005)



**Figura 29.** Convertidor de torque en Reparación. (Autores, 2015)

El Convertidor de Torque, Figura 29, es un acoplamiento fluido más un estator.

Al igual que el acoplamiento fluido, el convertidor de torque transmite la potencia necesaria para mover la máquina, acoplando el motor a la transmisión.

A diferencia del acoplamiento fluido, el Convertidor de Torque puede también multiplicar el torque desde el motor, lo que incrementa el torque a la transmisión. El convertidor de Torque utiliza un Estator que redirige el fluido de regreso a la Impelente en la dirección de giro. (Finning, 2006)

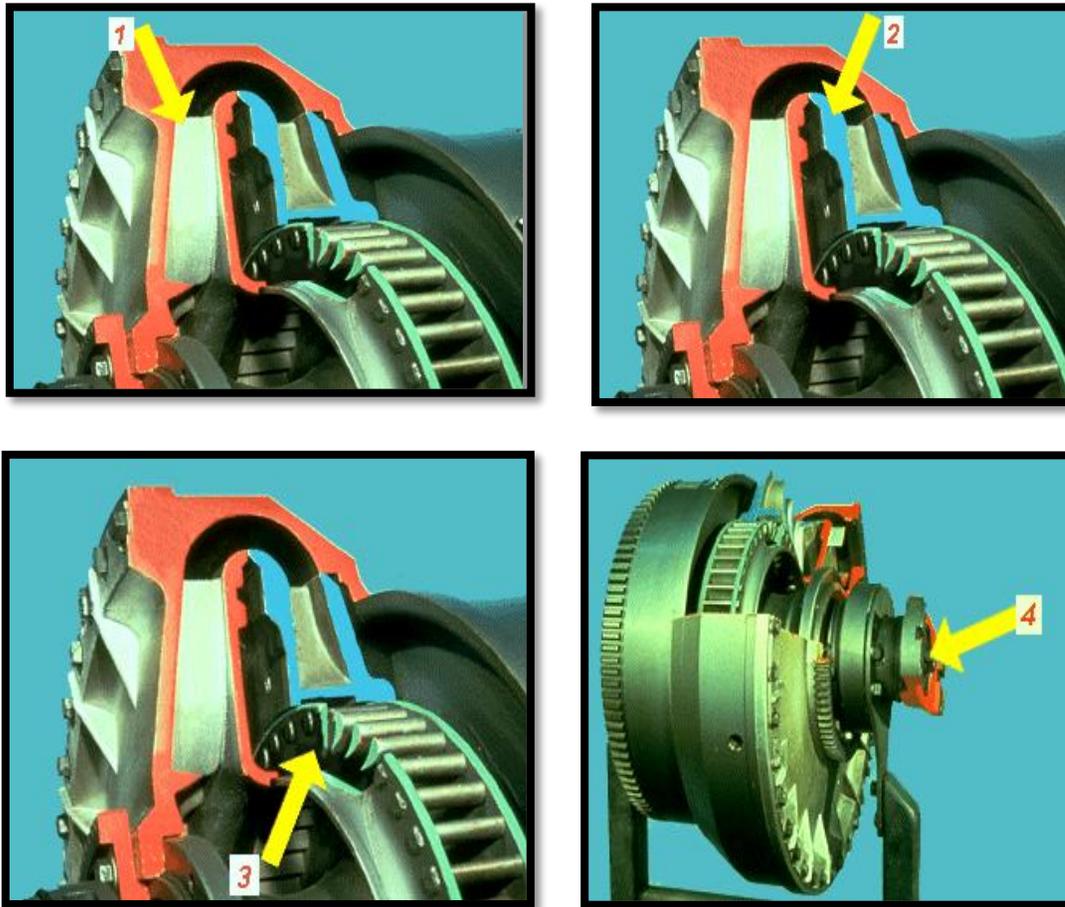
La Fuerza del aceite desde el Estator incrementa la cantidad de torque transferido desde la Impelente a la Turbina y hace que el Torque se multiplique. (Finning, 2006)

**2.5.2 Partes del convertidor.** En general, los componentes principales en un convertidor de torque son (Ver Figura 30):

- 1. Impelente o miembro impulsor:** La Impelente, es la sección impulsora del Convertidor. Se une al volante mediante estrías y gira a las mismas RPM del motor. La Impelente tiene paletas que dirigen el aceite a la Turbina impulsándola.
- 2. Turbina o miembro impulsado:** La Turbina es la parte impulsada al recibir sobre sus alabes el aceite proveniente de la Impelente. La Impelente gira junto al eje de salida debido a que están unidos por estrías
- 3. Estator o miembro de reacción:** El Estator es la parte fija del Convertidor. Sus paletas multiplican la fuerza redirigiendo el aceite que llega desde la Turbina hacia

la Impelente, siendo esta su función. Este cambio de dirección aumenta el impulso e incrementa la fuerza.

**4. Eje de salida o miembro de comunicación:** El Eje de Salida, que está unido a la Turbina, envía la fuerza hacia el eje de entrada de la transmisión. (Finning, 2006)



**Figura 30.** Dirección del Fluido Hidráulico de Acoplamiento. (Finning, 2006)

La principal función del Convertidor de Torque es multiplicar el par del motor, es decir, la potencia suministrada desde el volante del motor es “administrada” en el convertidor, en donde se reduce la velocidad angular para incrementar el torque.

Como es posible apreciar en la Figura, los componentes que están en comunicación y que giran como una unidad a la velocidad del motor son (Ver Figura 31):

- La Caja Rotatoria N °1.

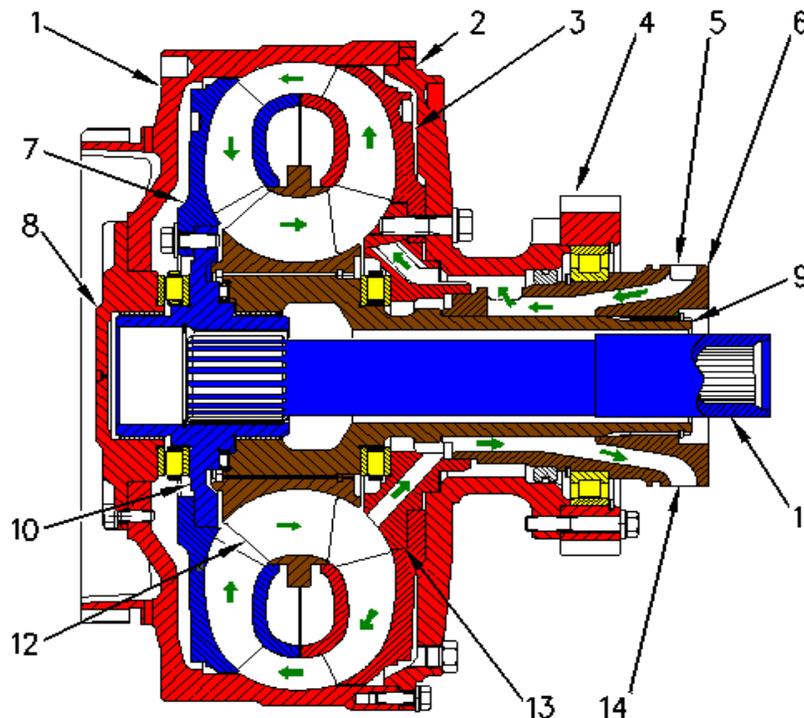
- El conjunto del Flange N °2.
- El Cubo N °13.
- La Impelente N °3.
- El engranaje de mando para la bomba de aceite.

Estos componentes son movidos por el volante del motor y giran a la velocidad del motor.

La Turbina N °7 está apernada al Cubo N °10 y este está conectado al Eje de Salida N °11 por medio de estriados al eje. Estos componentes giran como una unidad permitiendo transmitir la potencia a la transmisión.

El Estator N °12 está fijo y se conecta al Conjunto del Transportador N °9 por estriados.

A su vez, el Conjunto del Transportador N °9 se conecta al Transportador N °6 y este último está apernado a la tapa del Convertidor de Torque (No mostrada). Tanto el Estator como los transportadores permanecen fijos. (Finning, 2006)



**Figura 31.** Flujo de Aceite a través del Convertidor de Torque. (Finning, 2006)

**2.5.3 Flujo de aceite a través del convertidor de torque.** Para comprender el flujo de aceite necesario para el funcionamiento del Convertidor de Torque, se utilizará como referencia la Figura.

El aceite para la operación del Convertidor de Torque, ingresa a través de la lumbrera N °5 y por medio del conducto del transportador N °6 y del Cubo N °13 es dirigido a la Impelente N °3. Como la Impelente N °3 rota (movida por el volante del motor), actúa como una bomba impulsando aceite hacia la Turbina N °7. El aceite al golpear sobre los alabes de la Turbina permite que esta genere el movimiento angular que es transmitido al Eje de Salida N °11 y de ahí al resto de los componentes del tren de potencia.

Una vez que el aceite actúa sobre la Turbina N °7, parte de este aceite es redirigido a través de los alabes del Estator N °12 de vuelta a la Impelente N °3. El aceite que es redirigido a la Impelente, se mueve en la misma dirección de rotación de la impelente y se une al aceite que está entrando al Convertidor de Torque, debido a esto el torque de salida del convertidor es multiplicado.

Otra cantidad de aceite, abandona el Convertidor de Torque a través de la Lumbrera de salida N °14 que muestra la Figura 31. (Finning, 2006)

**2.5.4 Tipos de convertidor de torque.** Los distintos tipos de Convertidor de Torque que es posible encontrar en la maquinaria Caterpillar son:

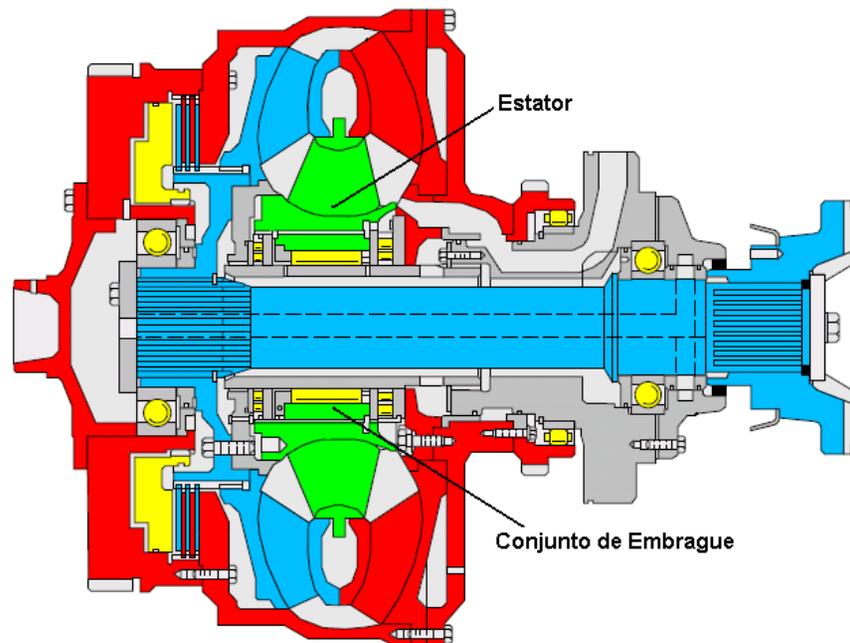
1. Convertidor de Torque Convencional.
2. Convertidor de Torque con Embrague Unidireccional.
3. Convertidor de Torque de Capacidad Variable.
4. Convertidor de Torque con Embrague de Impelente (Impeler Clutch).
5. Convertidor de Torque con Embrague de Traba (Lockup Clutch).
6. Divisor de Torque.

**2.5.5 Convertidor de torque convencional.** La operación, componentes y flujo de aceite a través del Convertidor de Torque Convencional corresponden al descrito anteriormente.

**2.5.6 Convertidor de torque con embrague unidireccional.** Los mismos componentes principales descritos en el Convertido de Torque Convencional conforman el Convertidor de Torque con Embrague Unidireccional (Ver Figura 32).

La diferencia entre ambos radica en que el Convertidor de Torque con Embrague Unidireccional posee un conjunto de embrague en el Estator, que dependiendo de la condición de carga existente en el Tren de Fuerza, permite fijar o liberar al Estator. Con lo anterior se consigue multiplicar el torque transmitido a la transmisión (al estar fijo el Estator), o sólo producir un acoplamiento fluido en donde no existe multiplicación de torque (Estator liberado). En esta condición el Estator puede girar libremente evitando que el aceite sea redirigido a la Impelente.

La condición de estator libre se da cuando el equipo se está desplazando y ha salido de una condición de carga. (Finning, 2006)



**Figura 32.** Convertidor de Troque de Embrague Unidireccional. (Caterpillar, 2005)

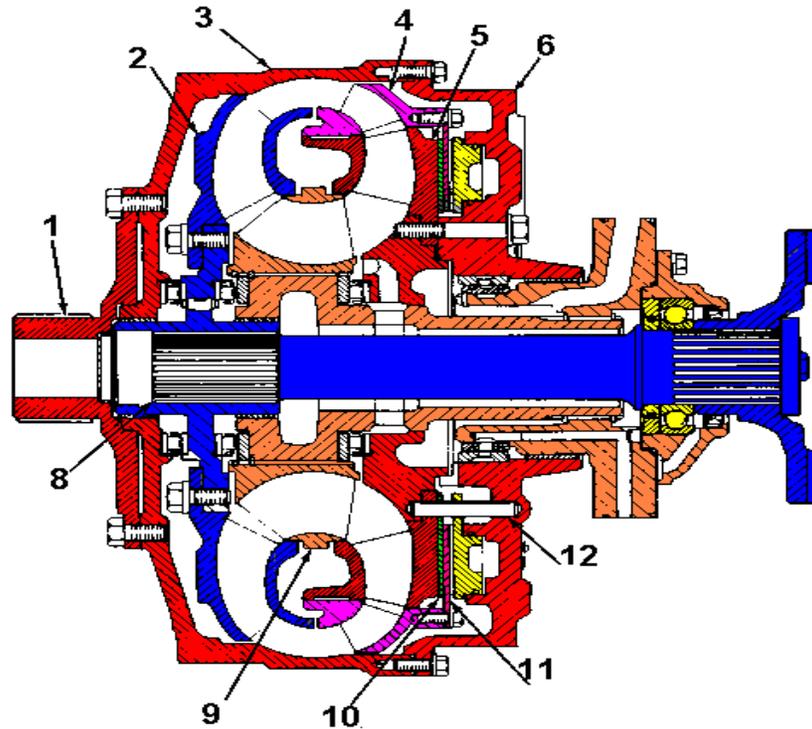
En condición de carga la fuerza ejercida por el aceite sobre los alabes del Estator, hace girar al conjunto en sentido horario quedando los rodillos asegurados entre la Leva y la masa. Esto fija al Estator permitiendo que el aceite sea redirigido a la Impelente.

Cuando la velocidad de la Impelente y la Turbina se incrementan (Producto del término de una condición de carga) el aceite golpea la parte posterior de los alabes del Estator haciendo que este gire en sentido anti horario, los Rodillos no se aseguran y la Leva pueda girar libremente. El Estator no reenvía aceite a la Impelente y el Convertidor de Torque funciona como un acoplamiento fluido. (Finning, 2006)

El Convertidor de Torque con Embrague Unidireccional es posible encontrarlo en equipos como: Moto traíllas, Retro excavadoras, Camiones articulados y Camiones de obras.

**2.5.7 Convertidor de torque de capacidad variable.** El Convertidor de Torque de Capacidad Variable, posee dos Impelente, una Interna y otra Externa. La Impelente Externa posee un embrague hidráulico que permite aplicar la Impelente Externa con lo que se logra impulsar una mayor cantidad de aceite a la Turbina consiguiendo de esta forma un mayor torque en el Eje de Salida (Ver Figura 33).

Al no estar activada la impelente externa (Embrague desaplicado), el volumen de aceite enviado a la Turbina es menor y por ende es menor el torque en el Eje de Salida, además con esto se consigue mejor rendimiento para el sistema hidráulico de implementos pues es menor la potencia del motor que está tomando el convertidor de torque.



**Figura 33.** Convertidor de Torque de Capacidad Variable. Fuente: (Finning, 2006)

- Flange N °1, con conexión al volante del motor
- Turbina N °2, con conexión al eje de salida N °8
- Caja rotatoria del Convertidor N °3, apernado al Flange N °1 y a la Caja del Embrague de la Impelente Externa N °6
- Impelente Externa N °4
- Impelente Interna N °5, unida a la Caja del Embrague de la Impelente Externa N °6 por medio de pernos y Pasadores N °12
- Caja del Embrague de la Impelente Externa N °6, que contiene al pistón del embrague de la Impelente Externa
- Eje de Salida N °8
- Estator N °9
- Plato del Embrague N °10
- Disco del Embrague N °11, que está conectado a la Impelente Externa N °4

El Flange N °1, la Caja Rotatoria del Convertidor N °3, la Caja del Embrague N °6 y la Impelente Interna N °5, giran como una unidad a la velocidad del motor.

El Embrague de la impelente Externa se aplica hidráulicamente y es controlado por el sistema hidráulico de la transmisión, el que a su vez es controlado por el operador. (Finning, 2006)

Al existir máxima presión de aceite actuando sobre el pistón del embrague de la Impelente Externa (Embrague aplicado), ambas Impelentes giran impulsando aceite a la Turbina y máximo Torque se obtiene en el Eje de Salida.

La desaplicación de la Impelente Externa, produce una disminución en el Torque de Salida consiguiendo con ello que:

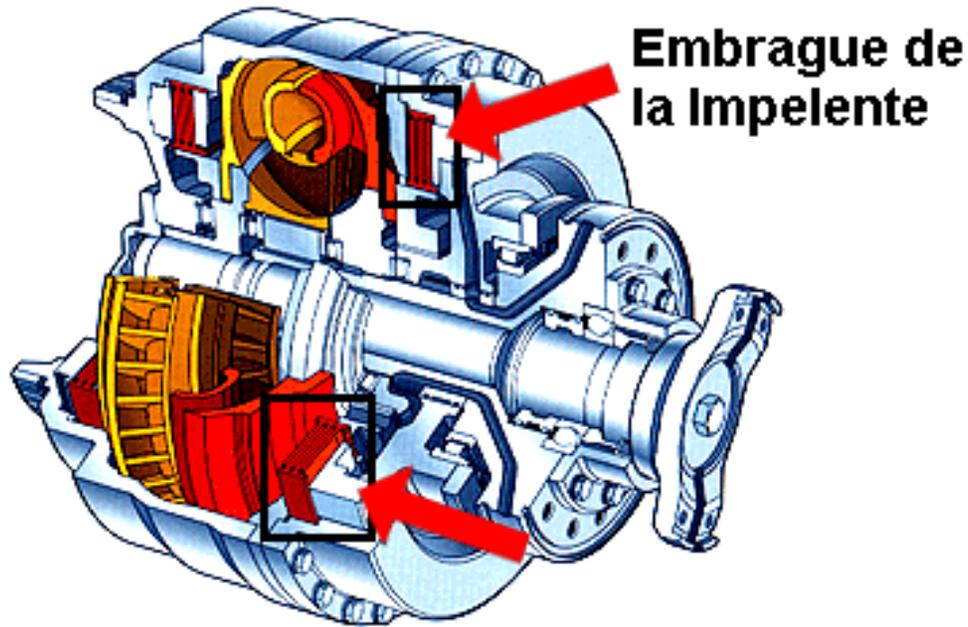
1. Se evite el patinaje de las ruedas, reduciendo el desgaste de los neumáticos.
2. Exista mejor rendimiento en el sistema hidráulico de implementos, mejorando el desempeño hidráulico de la máquina al disponer de la potencia que no ha tomado el convertidor.

El aceite para la aplicación del Embrague de la Impelente Externa, es suministrado por el sistema hidráulico de la Transmisión. El operador desde la cabina, puede ajustar la capacidad de Torque, variando el flujo de aceite al pistón del Embrague para variar la presión Hidráulica que va actuar sobre él.

Los equipos en los cuales es posible encontrar Convertidores de Capacidad Variable son: Cargadores de Ruedas Grandes y Moto traíllas.

**2.5.8 Convertidor de torque con embrague de impelente.** El Convertidor de Torque con Embrague de Impelente (Impeller Clutch) mostrado en la Figura 34, posee un paquete de embrague de discos múltiples, que actúa sobre la Impelente con lo que es posible limitar el Torque en el eje de Salida controlando el patinaje del embrague.

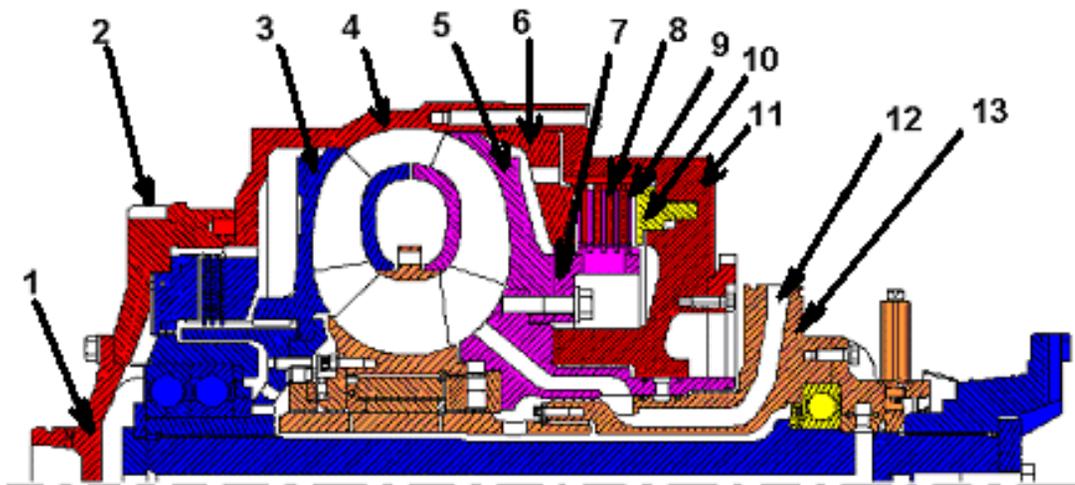
De esta forma se consigue eliminar el patinaje en las ruedas, reduciendo con ello el desgaste innecesario de neumáticos.



**Figura 34.** Embrague de la Impelente. (Finning, 2006)

El Embrague de la Impelente también permite realizar un cambio direccional en la transmisión, desde reversa hacia frontal o viceversa de una manera más suave, reduciendo con ello el esfuerzo al que se ven sometidos los componentes del tren de potencia (Ver Figura 35).

El Embrague de la Impelente es aplicado por aceite hidráulico. El flujo de aceite hidráulico para actuar sobre el Embrague de la Impelente es controlado por el operador a través del pedal izquierdo ubicado en la cabina de la máquina.



**Figura 35.** Sección de un Convertidor de Embrague Impelente. (Finning, 2006)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 088
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

- Flange N °1 con conexión al volante del Motor
- Caja N °2
- Turbina N °3, con conexión al Eje de Salida
- Caja N °4
- Impelente N °5
- Plato N °6
- Adaptador N °7
- Platos N °8 del Conjunto del Embrague
- Discos N °9 del Conjunto del Embrague
- Pistón N °10 del Conjunto del Embrague
- Caja del Embrague N °11
- Pasaje de entrada de aceite para el Convertidor de Torque N °12
- Transportador N °13

El Flange N °1, la Caja N °2, la Caja N °4 y la Caja del Embrague N °11 giran como una unidad a la velocidad del motor.

El estriado interno que posee la Caja N °11, permite hacer girar a los Platos N °8 al Plato N °6 y al Pistón N °10 del Conjunto del Embrague.

El Adaptador N °7 posee estriados para la conexión de los Discos N °9 del Conjunto de Embrague. A su vez el Adaptador N °7 está conectado a la Impelente N °5 del Convertidor de Torque por medio de pernos.

Al no existir aceite a presión sobre el Pistón N °10 del Conjunto del Embrague, este no actúa sobre los Platos N °8, de esta forma la Caja N °11 y el Pistón N °10 giran a la velocidad del motor, pero los Discos N °9, el Adaptador N °7 y la Impelente N °5 se mueven levemente con lo que existe una pequeña cantidad impulsada de aceite a la Turbina N °3 para que exista un leve movimiento en el eje de salida.

La condición descrita anteriormente se obtiene cuando el operador presiona el pedal izquierdo ubicado en la cabina de operaciones de la máquina.

Al Existir mayor presión de aceite, se fuerza al Pistón N °10 del Conjunto del Embrague para que actúe sobre los Platos N °8 y Discos N °9, mostrados en la Figura.

La fricción generada entre Discos y Platos hace que la Impelente rote impulsando aceite a la Turbina.

Esta condición se consigue cuando el operador libera el pedal izquierdo ubicado en la cabina de operaciones de la máquina.

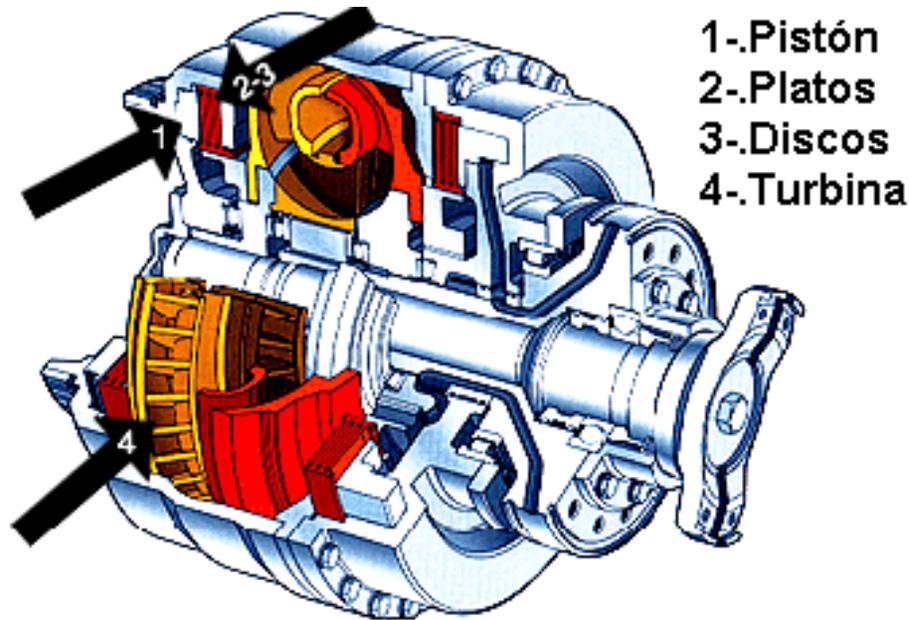
Los equipos en los cuales es posible encontrar Convertidores de Torque con Embrague de Impelente son: Cargadores de Ruedas Grandes y Moto traíllas. (Caterpillar, 2005)

**2.5.9 Convertidor de torque con embrague trava (Lockup Clutch).** El Convertidor de Torque con Embrague de Traba, mostrado en la Figura 36, posee un paquete de embrague de discos múltiples, que actúa sobre la Turbina que al ser activado permite conectar en forma directa el volante del motor a la transmisión, transfiriendo la potencia del motor directamente a la transmisión. Lo anterior también se conoce como condición de “Mando Directo” (Ver Figura 36).

El Convertido de Torque con Embrague de Traba, también puede trabajar como un Convertidor Convencional, (Embrague de Traba desactivado), multiplicando el par del motor. Lo anterior se conoce como condición de “Mando Convertidor”.

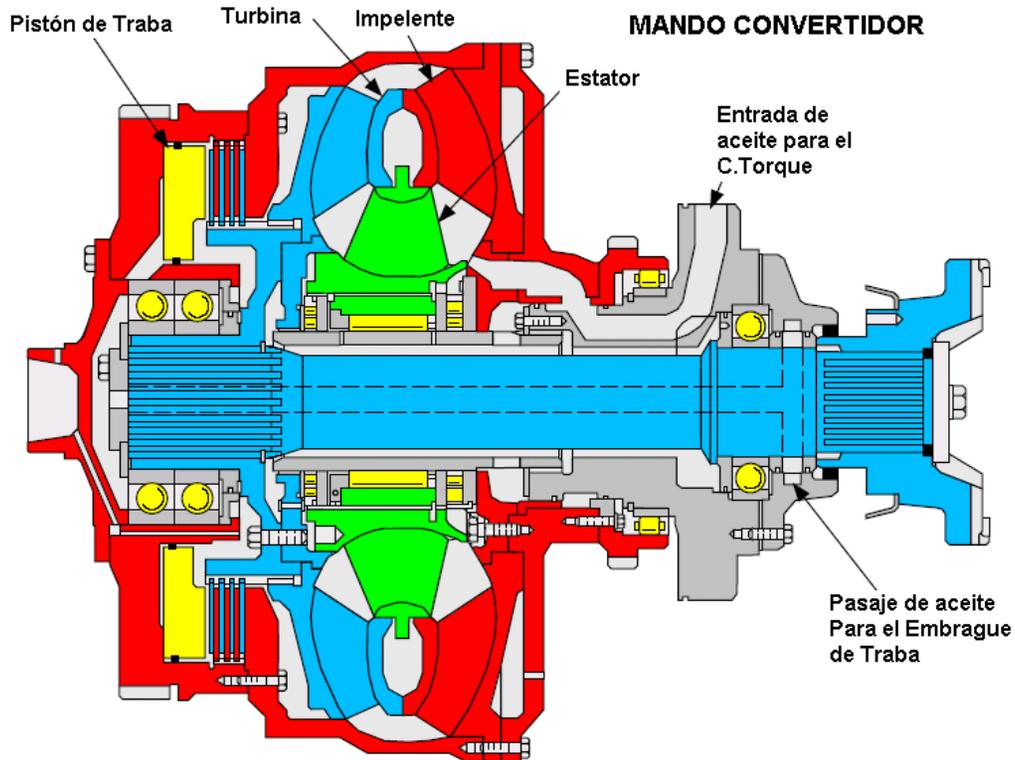
La presión de aceite que se genera en la cámara del pistón del embrague de trava hace que éste comprima discos y platos del embrague. Lo anterior permite que la Turbina y el Eje de Salida giren a la misma velocidad que la caja del convertido, por lo tanto la Turbina y la Impelente giran a la misma velocidad también. El resultado de lo anterior es que no existe multiplicación de torque en el convertidor. El convertidor sólo actúa como un acoplamiento mecánico entre el motor y la transmisión. La potencia generada por el motor, es transmitida directamente a la transmisión (Mando Directo).

Al no existir presión de aceite actuando sobre el pistón del embrague de trava, el convertidor trabaja como un convertidor convencional multiplicando el torque del motor (Mando Convertidor).



**Figura 36.** Convertidor de Torque con Embrague de Traba. (LOCKUP CLUTCH).  
(Finning, 2006)

**2.5.10 Condición de mando convertidor y mando directo.** La condición de “Mando Convertidor”, (embrague de traba desactivado), se utiliza cuando el equipo requiere multiplicación de torque en el eje de salida, es decir el suficiente torque para poder sacar al equipo de una condición de Inercia (tendencia a permanecer en reposo), por el contrario la modalidad de “Mando Directo” es utilizada cuando el equipo ha salido de la condición de Inercia y está en movimiento, no se requiere multiplicación de Torque, por el contrario, lo que se necesita es velocidad y para ello la transmisión de potencia se realiza directamente desde el volante motor a la transmisión al ser activando el embrague de traba (Ver Figura 37).



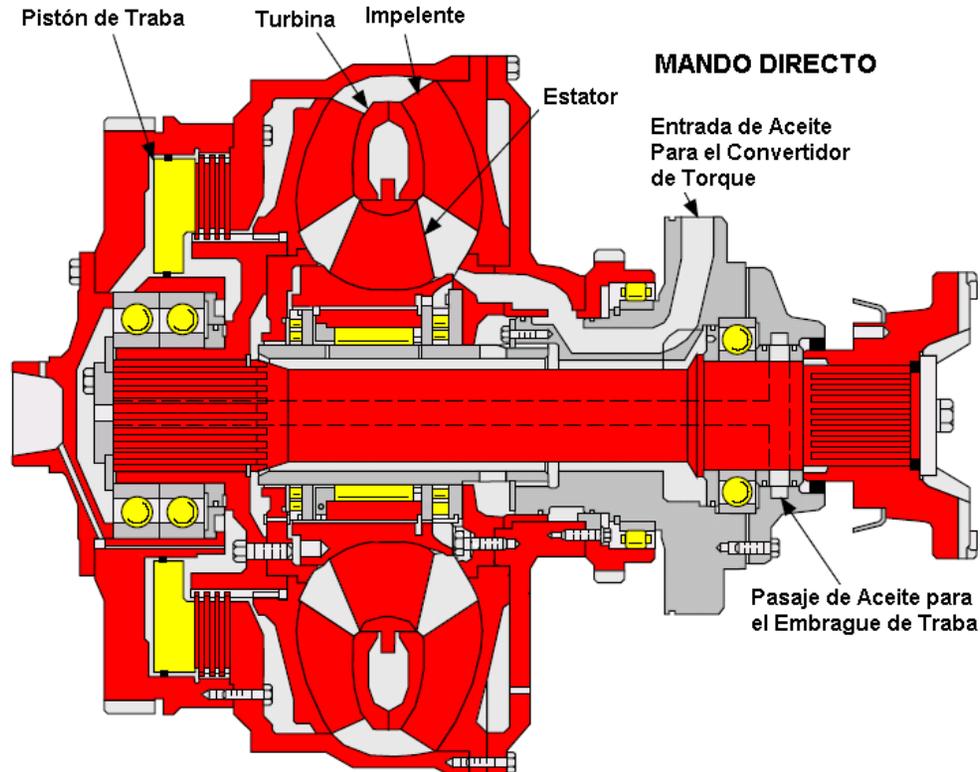
**Figura 37.** Convertidor en Posición de Mando de Torque hacia el Eje de Salida.

(Finning, 2006)

La figura 37, muestra el Convertidor de Torque con Embrague de traba en la condición de “Mando Convertidor” en la cual el Convertidor trabaja como un convertidor Convencional multiplicando el Torque en el Eje de Salida.

En esta condición no existe suministro de aceite al Pistón del Embrague de Traba por lo que no existe fricción entre los discos y platos del conjunto del Embrague de Traba.

La turbina es movida por la acción del aceite que es impulsado por la Impelente.



**Figura 38.** Convertidor en Posición de mando Directo. Sin Multiplicación de par.  
(Finning, 2006)

La figura 38, muestra el Convertidor de Torque con Embrague de traba en la condición de “Mando Directo” en la cual el Convertidor es sólo un nexo entre el volante del motor y la Transmisión, (acoplamiento mecánico). No existe multiplicación del par y la transmisión de potencia es directa.

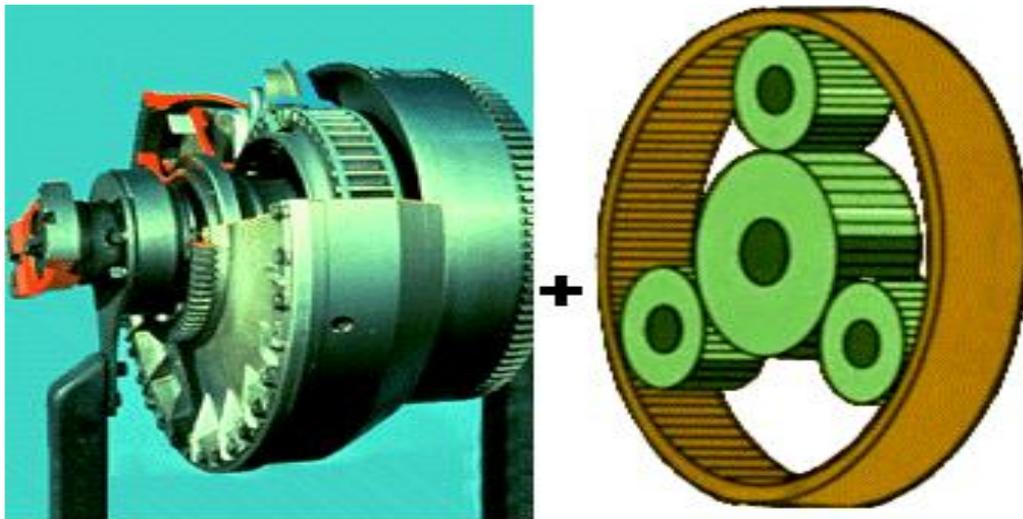
En esta condición existe suministro de aceite al Pistón del Embrague de Traba a través del conducto central en el Eje de Salida. El suministro de aceite a través del conducto central en el eje de salida permite que el Pistón del Embrague de Traba actúe sobre el conjunto de Discos y Platos del Embrague, comprimiendo Discos y Platos, haciendo que la Turbina gire a la misma velocidad de la Caja Rotatoria del Convertidor y de la Impelente. Lo anterior se traduce en que no existe multiplicación de Torque y la potencia del motor es transmitida directamente a la Transmisión.

El suministro de aceite al embrague de traba se realiza en forma automática dependiendo de las condiciones de operación del equipo tales como: velocidad de salida del convertidor y velocidad de salida de la transmisión, entre otras.

Los equipos en los cuales es posible encontrar Convertidores de Torque con Embrague de Traba son: Cargadores de ruedas grandes, Moto traíllas, Camiones de obras y Camiones articulados. (Caterpillar, 2015)

**2.5.11 Divisor de torque.** Divisor de Torque, es una clase especial de Convertidor de Torque, pues está formado de un Convertidor de Torque Convencional más un Conjunto de Engranajes planetarios (Ver Figura 39).

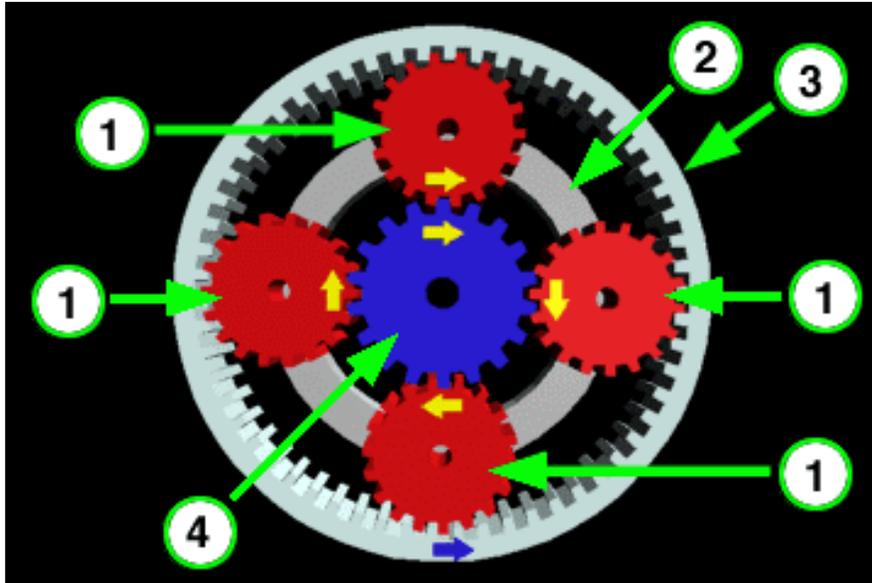
Ambos componentes (el convertidor de torque y el conjunto de engranajes planetarios), pueden multiplicar el torque de suministro desde el volante a la transmisión dependiendo de las condiciones de carga existente.



**Figura 39.** Divisor de Torque. (Caterpillar, 2005)

Las partes que componen el conjunto de Engranajes Planetarios son (Ver Figura 40):

1. Engranajes Planetarios.
2. Porta Planetarios.
3. Anular o Corona (en adelante se usará el término: Corona).
4. Engranaje Solar.



**Figura 40.** Engranajes del Divisor de Torque. (Caterpillar, 2005)

El Engranaje Solar está unido al volante del motor y el volante del motor a través de la caja rotatoria del convertidor está unido a la Impelente, el Porta Planetario está unido al Eje de Salida y la Corona está unida a la Turbina.

Cuando la maquina opera a baja carga, el equipo está sometido a una condición de baja carga, el Porta Planetario tiene poca resistencia a la rotación por lo que el Engranaje Solar, el Porta Planetario los Planetarios y la Corona giran a la misma velocidad.

El Torque proveniente del Convertidor y del Conjunto de Engranajes Planetarios se transmite al Porta Planetario y a través de éste al Eje de Salida.

No existe multiplicación de Torque en el conjunto de Engranajes Planetarios si todos giran a la misma velocidad.

Cuando existe una condición de carga, el Porta Planetarios tiene resistencia a la rotación, esto hace que los Engranajes Planetarios giren en su propio eje y que la Corona trate de girar en sentido contrario al del Engranaje Solar. Como la Corona está unida a la Turbina, se produce una reducción en la velocidad de la Corona y por ende en la Turbina lo que genera un aumento en el Torque de salida del Convertidor, el que es transmitido a través de la Corona y el Porta Planetario al Eje de Salida.

Con la disminución de velocidad de la Corona, el Torque del motor también se multiplica. Este Torque es transmitido al Eje de Salida a través del Engranaje Solar, los Engranajes Planetarios y el Porta Planetario.

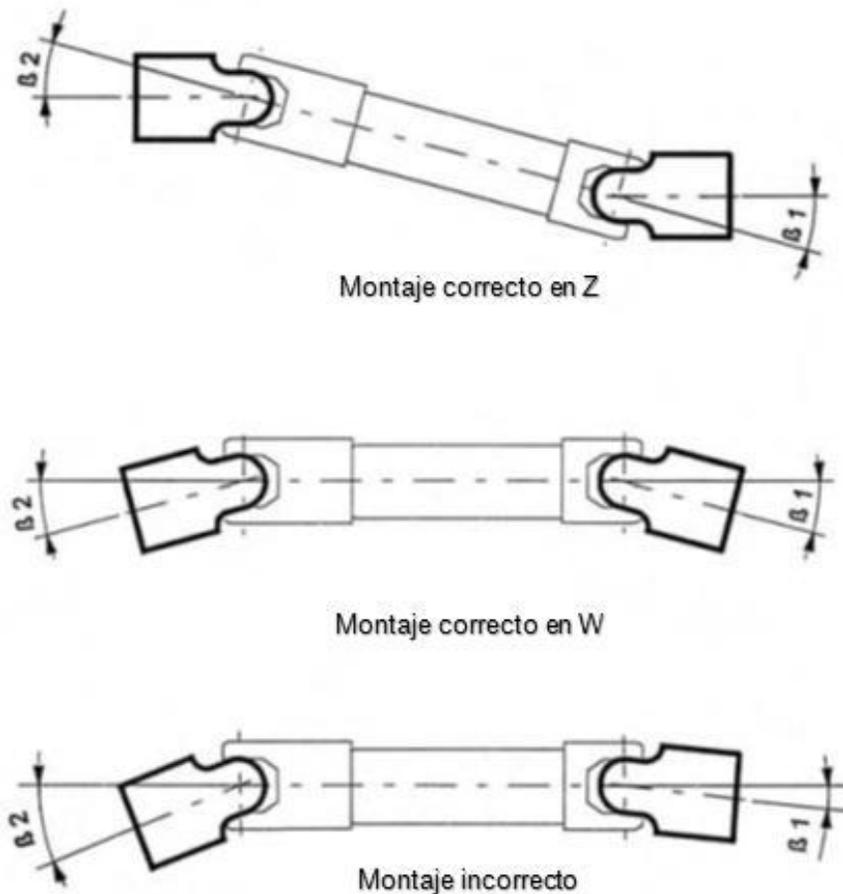
En condiciones muy altas de carga, el Eje de Salida se puede detener debido a la alta resistencia a la rotación, por lo que los Engranajes Planetarios solo rotan en su eje y no se trasladan a través de la corona, haciendo que la turbina gire en sentido contrario a lo normal. A esto se le llama condición de calado del convertidor.

Los equipos en los cuales es posible encontrar Divisores de Torque son: Tractores de Cadena. (Finning, 2006)

## 2.6 Eje de mando

El eje de mando o cardan, es el encargado de transmitir el movimiento de traslación desde la transmisión hacia el diferencial. Es un eje hueco, que resiste altas torsiones y frenadas inesperadas en el conjunto del tren de potencia.

**2.6.1 Funcionamiento.** Un eje de mando o cardan permite transmitir un movimiento de rotación entre dos ejes concurrentes. Una sola junta cardan no es un mecanismo homocinético; si el árbol de entrada gira a velocidad constante, la velocidad del árbol de salida está sujeta a una variación periódica, tanto más sensible cuanto la angularidad de los ejes de rotación es mayor. Sin embargo, para transmitir un movimiento entre dos ejes no concurrentes, es necesario utilizar una transmisión compuesta al menos de dos juntas cardan y, generalmente una de ellas deslizante. (iberocar@iberocardan.com, 2012) Las condiciones de homocineticidad de una transmisión compuesta de dos juntas cardan se muestran en la figura 41.



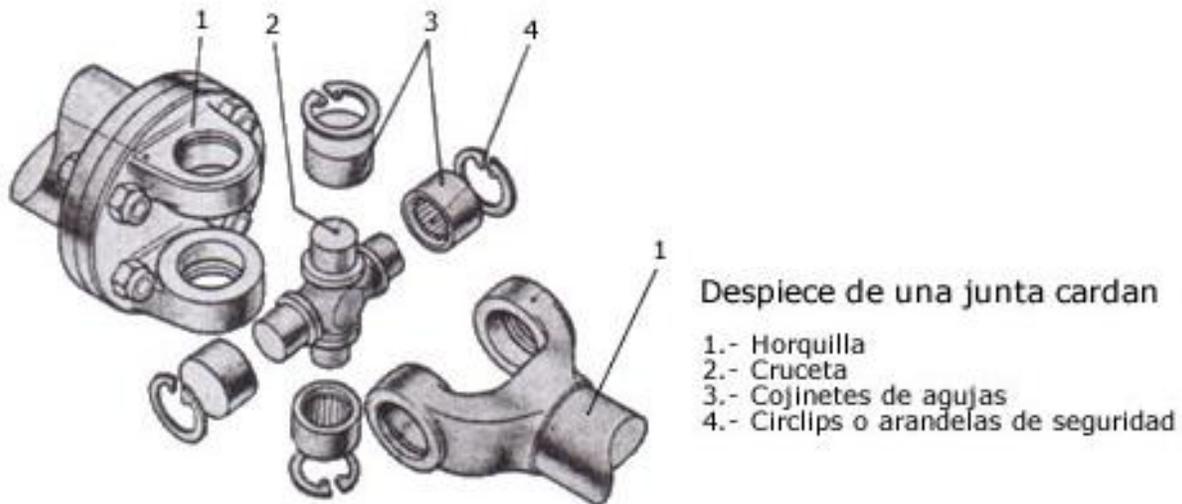
**Figura 41.** Tipos de Montaje de Ejes de Mando o Cardanes. (Caterpillar, 2015)

Las horquillas del árbol central deben estar alineadas.

- Los ángulos de flexión  $\beta_1$  y  $\beta_2$  de las dos articulaciones deben ser iguales, tanto en disposición w o z.
- El eje conductor, el árbol central y el eje conducido, deben estar en un mismo plano.

Son posibles dos esquemas de montaje que respetan estas condiciones: árbol conductor y conducido concurrentes (montaje en W) o paralelos (montaje en Z). (Caterpillar, 2015)

### 2.6.2 Partes del eje de mando o cardan



**Figura 42.** Despiece de Cardan. Fuente: (Paz, 2004)

El eje de mando o cardan está formado por una cruceta, a uno de cuyos brazos se articula la horquilla en que termina un eje, y al otro brazo la horquilla del otro eje.

Los cojinetes de aguja son uniones que permiten movimientos oscilatorios a las horquillas estas necesitan lubricación y pueden ser montadas abiertas al medio ambiente. (Cuesta, 2003)

### 2.7 Engranajes

La transmisión cambia la combinación de engranajes de acuerdo con las condiciones del uso del vehículo, como cambia también la velocidad y potencia del motor, transmitiendo éstas al movimiento de las ruedas (Ver Figura 43). Cuando arranca el vehículo desde la condición de parada o cuando sube una cuesta, la transmisión desarrolla una gran fuerza y transmite esta al movimiento de las ruedas. Cuando se usa a grandes velocidades, la transmisión hace girar el movimiento de las ruedas a grandes velocidades y cuando se usa el vehículo marcha atrás, la transmisión origina el movimiento de ruedas para girar al contrario. (Caterpillar, 2012)



**Figura 43.** Engranés de la transmisión. (Autores, 2015)

Cuando los engranajes son cambiados la rotación de los mismos se iguala con la rotación del eje de salida.

Este mecanismo engancha a los engranajes juntándolos fácilmente. Consiste en un anillo sincronizado, un resorte de cubo, un embrague de cubo y algunas otras piezas.

En este caso se muestra un engranaje de transmisión de Contra Eje que posee engranajes rectos de engrane constante.

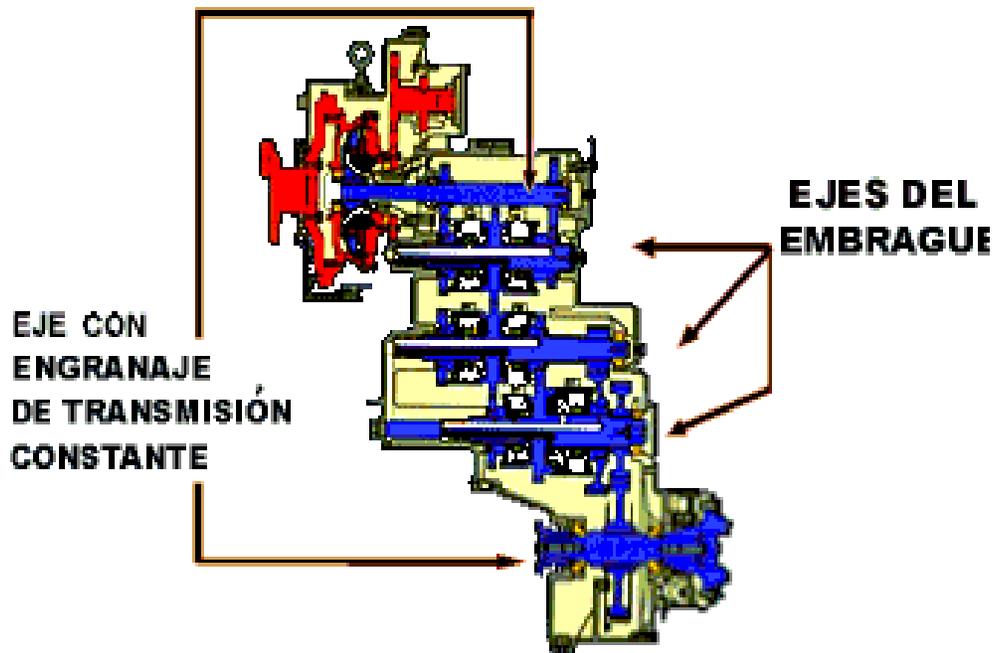
Los cambios de dirección y velocidad se logran enganchando varios conjuntos de embragues.

Existe una bomba de engranajes de desplazamiento positivo para todo el sistema hidráulico de la transmisión que está engranada al convertidor de par. (Caterpillar, 2015)

**2.7.1 Funcionamiento.** Los cambios de velocidad y de marcha son accionados por piñones que poseen engranajes rectos de engrane constante.

Los cambios de dirección y velocidad se logran enganchando varios conjuntos de embragues (Ver Figura 44).

Existe una bomba de engranajes de desplazamiento positivo para todo el sistema hidráulico de la transmisión que está engranada al convertidor de par.



**Figura 44.** Muestra los ejes con engranajes de transmisión constante y los ejes de Embrague. (Caterpillar, 2005)

- El eje es el que sostiene a los engranajes dentro de la transmisión.
- El número de ejes está determinado por el modelo de la máquina.
- Los embragues se enganchan por presión y se desengancha por resorte.
- Los embragues proporcionan la adecuada reducción de velocidad y dirección al eje de salida de la transmisión.
- En cada eje de embrague existen tres perforaciones. Una para lubricación y enfriamiento de embragues. Dos para suministrar presión al pistón del embrague.

En la Figura 45 muestra los componentes del embrague de accionamiento de los engranajes dentro de la transmisión. (Caterpillar, 2015)

Estos son:

1. Pistón de embrague (Con sello interno y externo).
2. Discos y platos.

Los platos poseen estrías externas que se engranan a las estrías internas de la caja del embrague.

Los platos giran junto a la caja del embrague.

Los discos tienen dientes internos que se engranan a los dientes externos de la masa (3)

3. La masa posee en su extremo estrías en donde engrana el engranaje de salida (4). (Caterpillar, 2005)



**Figura 45.** Embrague de Accionamiento de la Transmisión. (Caterpillar, 2005)

## 2.8 Transmisión

La transmisión es la encargada del control de la dirección y velocidad en el equipo, Es decir, la potencia proveniente del convertidor se transforma en potencia útil.

Las primeras máquinas estaban equipadas con sistemas de transmisión mecánicos, Es decir la potencia del motor se transmitía a través de un embrague mecánico y una serie de engranajes, los que eran controlados por palancas y cables. (Caterpillar, 2015)

A través de los años la transmisión y control de potencia fue evolucionando hasta llegar a los diseños recientes en los que Caterpillar desarrolló la Servo transmisión, existiendo de dos tipos:

1. Servo transmisión planetaria.
2. Servo transmisión de contra eje.

**2.8.1 Funcionamiento.** Las transmisiones utilizadas en los trenes de fuerza de los camiones mineros, son en su mayoría accionadas semiautomáticamente por medio de un cambio manual al cual se le ha acoplado un mando hidráulico o neumático para introducir las marchas, por medio de señales electrónicas, con lo cual se suprime el mando tradicional por palanca. (Caterpillar, 2015)

En su lugar, encontramos un pequeño pomo de mando o incluso botones rotatorios. La conducción se simplifica enormemente y, por el contrario, la complejidad mecánica aumenta, ya que todas las maniobras de selección e introducción de velocidades se hacen ahora por medio de cilindros hidráulicos, accionamientos neumáticos y electroválvulas. (Caterpillar, 2015)

En los sistemas más simples las señales de mando eléctricas pueden venir directamente de una palanca de cambio accionada por el conductor o de un mando electrónico conectado en medio. El sistema más sencillo es un mando a distancia en el que únicamente se sustituye el varillaje mecánico. La palanca de cambio (pulsadores o convencional con las marchas en H) es la que da las señales eléctricas.

El proceso de arrancada, desembrague y embrague es igual que en los cambios manuales.

En sistemas intermedios se añade una alarma sonora y un testigo óptico para indicar la conveniencia de su marcha. Sus ventajas son:

- Facilita el procedimiento de efectuar el cambio.
- Fácil montaje.
- Seguridad contra las revoluciones excesivas del motor.

En los sistemas más complejos, tanto el cambio como el elemento de arranque (embrague) están del todo automatizados. No existe pedal de embrague para el conductor. Los elementos que maneja el conductor son una pequeña palanca o pulsadores. Con un mando manual o con pulsadores (arriba-abajo) el conductor puede influir en el proceso de cambio. Para manejar automáticamente un cambio de varias marchas hace falta una maniobra de cambio complicada. No basta con colocar las marchas según un esquema determinado. Para coordinar los criterios de conducción y de economía de combustible, hay que tener en cuenta la resistencia real a la marcha

(determinada por la carga y el perfil de la carretera). De esta misión se encarga un controlador electrónico con un microprocesador (Finning, 2006).

Para ayudar al proceso de sincronización (según la clase de cambio) la gestión electrónica del motor corta momentáneamente el suministro de combustible o se acelera.

Las ventajas son:

- Conducción con consumo optimizado.
- Menor fatiga del conductor.
- Gran seguridad para conductor y vehículo. (Cuesta, 2003)

## 2.8.2 Tipos de Transmisiones

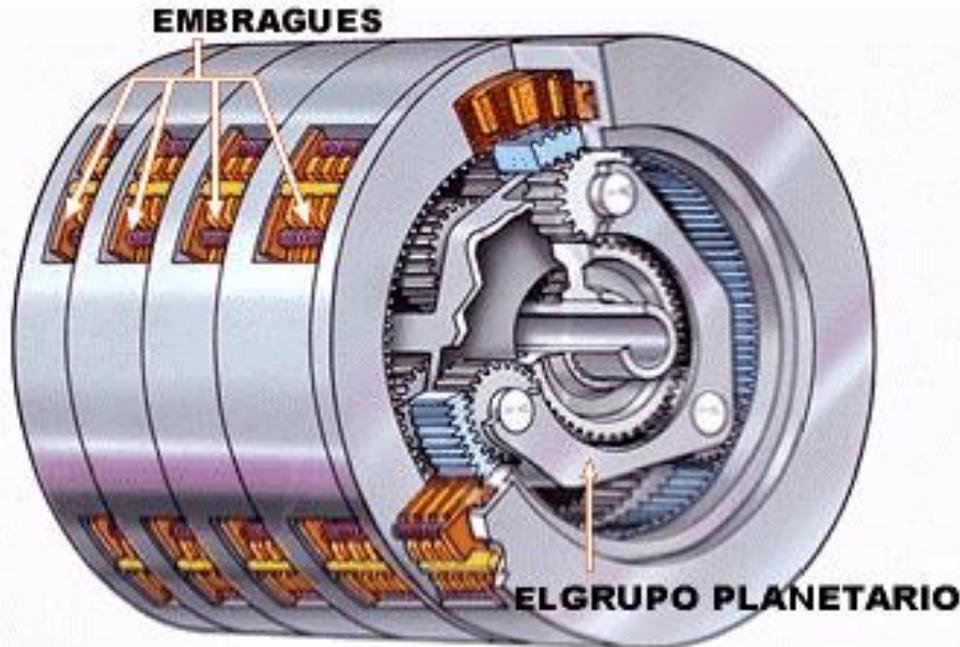
**2.8.2.1 Transmisión Planetaria.** Las Transmisiones Planetarias o también llamadas servo transmisiones planetarias, debido a que sus mecanismos funcionan con la ayuda de señales hidráulicas, son tal vez el tipo de transmisión más utilizado en las grandes máquinas para movimientos de tierra y minería (Ver Figura 46).

Su funcionamiento está basado en la operatoria de varios conjuntos de engranajes planetarios.

La potencia suministrada a la Servo Transmisión es “administrada” para tener control tanto de la velocidad como de la dirección del equipo deteniendo un determinado componente del conjunto de engranajes planetarios.

La detención de este determinado componente del conjunto de engranajes planetarios se consigue por el suministro de aceite hidráulico a un conjunto de Embragues.

El control en el suministro de aceite hidráulico a los embragues adecuados, permite la obtención de “potencia útil” desde la transmisión. Esta “potencia útil” es suministrada al resto de los componentes del tren de potencia obteniendo así, la dirección y velocidad deseadas por el operador. (Caterpillar, 2012)



**Figura 46.** Servo transmisión Planetaria. (Finning, 2006)

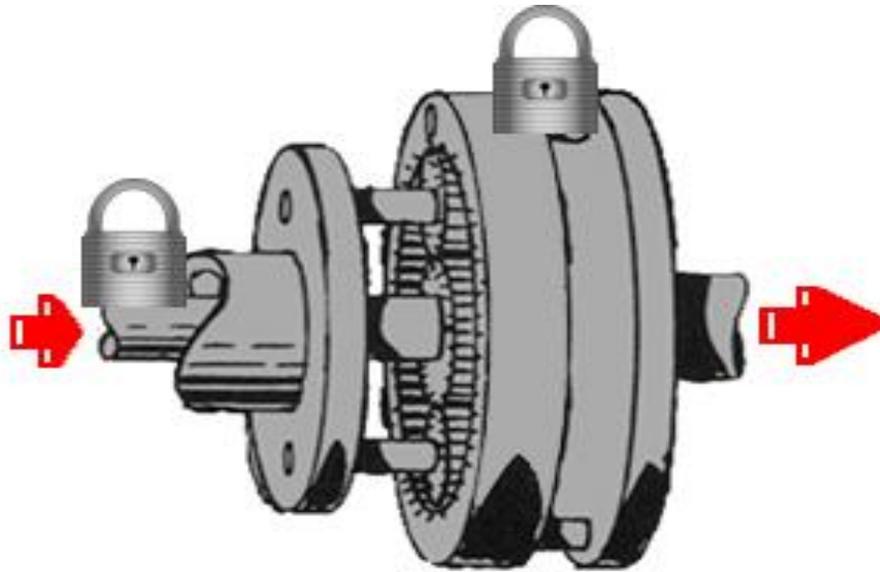
La figura 46 muestra el grupo de componentes principales de la Servo Transmisión Planetaria.

Los componentes son:

- El grupo planetario, que permite seleccionar dirección y velocidad del equipo.
- Embragues actuados hidráulicamente, que permiten la conexión del conjunto planetario adecuado en base a lo solicitado por el operador.
- Control electrónico de la transmisión que posee entradas y salidas para el control del funcionamiento de la transmisión (no mostrado).

Para entender el funcionamiento de un conjunto de engranajes planetarios es necesario considerar que siempre habrá un miembro que sea el Impulsor del movimiento y otro el impulsado. Para lograr conseguir lo anterior, otro miembro del conjunto de engranajes planetarios debe ser detenido.

En la figura 47 se muestra un conjunto de engranajes planetarios en donde el miembro impulsor es el engranaje solar. En este caso si dos miembros son detenidos (porta planetarios y corona), existirá transmisión mecánica del movimiento (la velocidad de entrada es igual a la velocidad de salida). (Caterpillar, 2012)



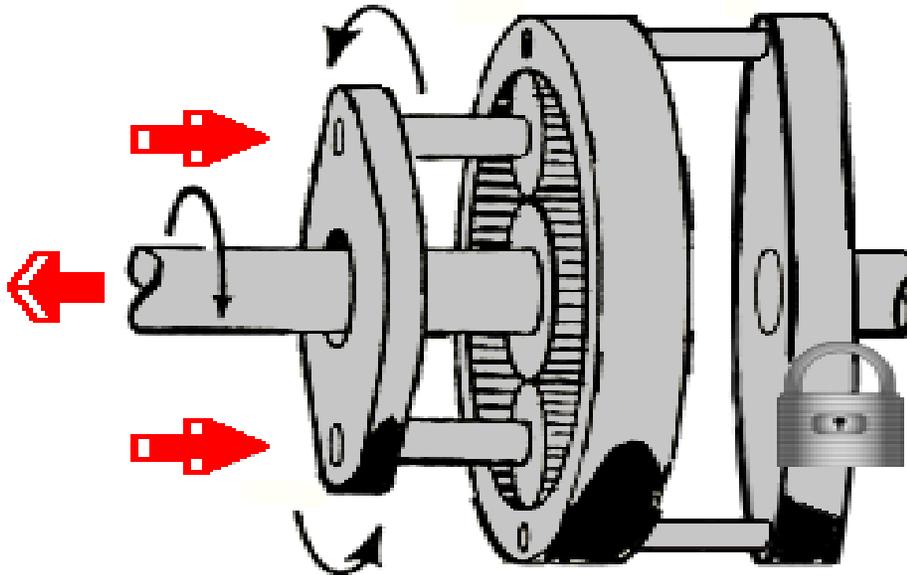
**Figura 47.** Engranajes planetarios en posición Velocidad de entrada es igual a la de salida. (Caterpillar, 2005)



**Figura 48.** Engranaje Planetario en Posición de reducción de Velocidad. (Caterpillar, 2005)

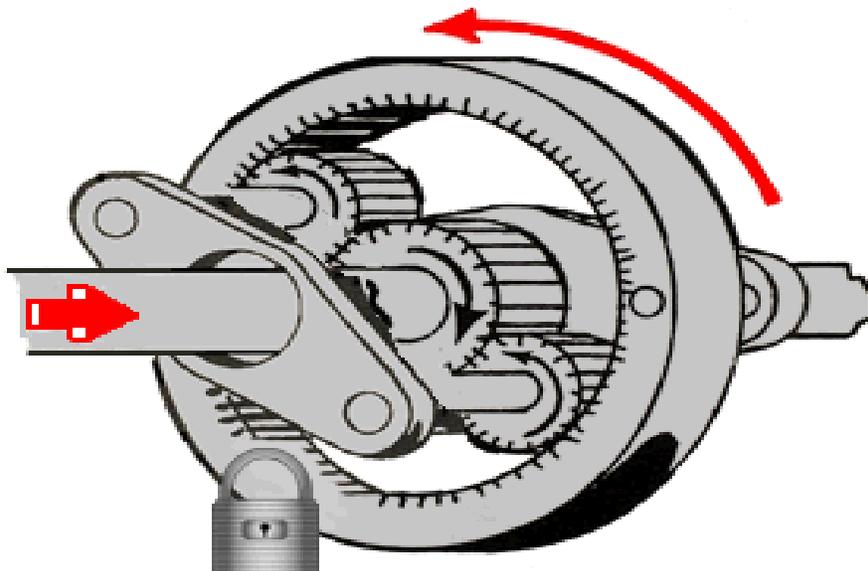
En el caso de la Figura 48, el engranaje Solar es el Impulsor y el miembro detenido es la Corona, por lo tanto, el miembro impulsado es el Porta Planetario. Este será impulsado a baja velocidad.

Una reducción de velocidad en el miembro impulsado implica también un aumento en el Torque de salida.



**Figura 49.** Engranaje Planetario a alta Velocidad. (Caterpillar, 2005)

Para la Figura 49 si el Porta Planetarios es el impulsor y la Corona está detenida; el engranaje Solar será impulsado a alta velocidad.



**Figura 50.** Engranaje Planetario en giro Inverso. (Caterpillar, 2005)

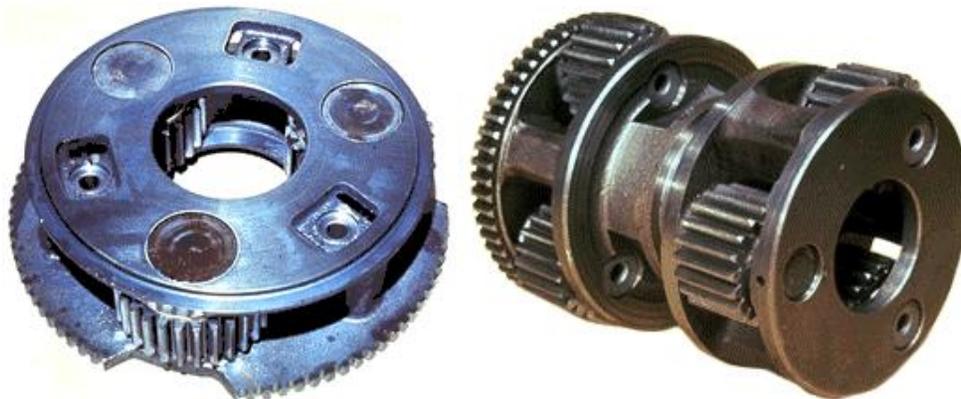
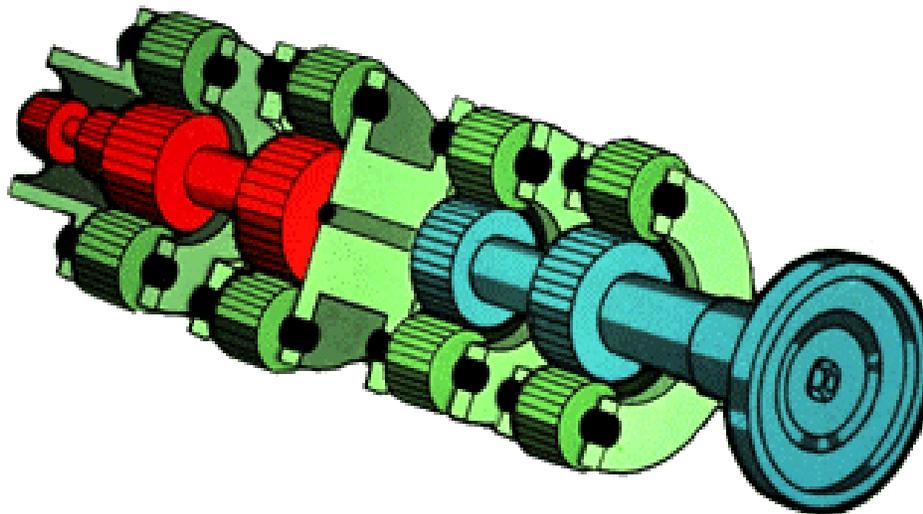
Para la Figura 50 si el Porta Planetarios es detenido y el engranaje Solar es el impulsor, la Corona girará en sentido inverso.

Para la construcción de una Servo Transmisión Planetaria se deben considerar dos ejes (Ver Figura 51).

Eje rojo (de entrada): para engranajes de dirección R (reversa, Reverse) y F (avance, Forward)

Eje azul, (de salida): para engranajes de velocidad 2 y 1.

Ambos con engranajes solares.

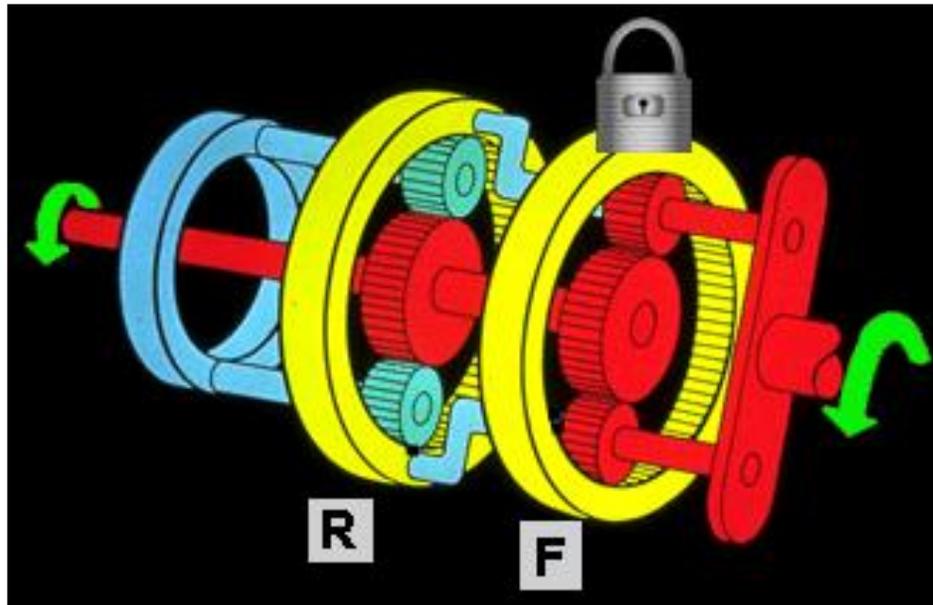


**Figura 51.** Distribución de Engranajes Planetarios. (Caterpillar, 2005)

En la figura 51, queda establecida la distribución del conjunto de engranajes planetarios provistos para los embragues de dirección (R y F) y para los embragues de Velocidad (1 y 2)

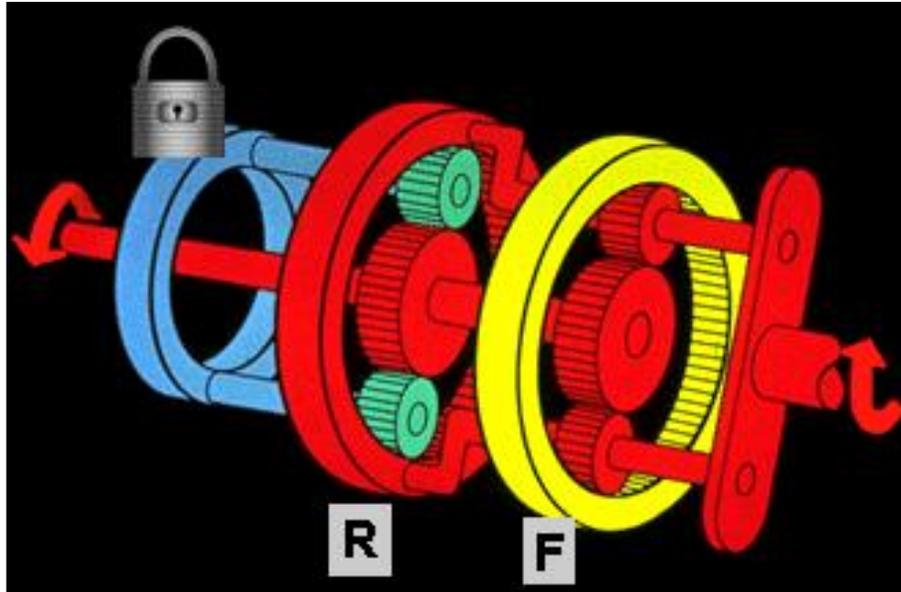
En las figuras 52 a 59 se hará el análisis del flujo de potencia al detener un miembro particular de cada conjunto de engranajes planetarios.

- **Avance (F):** Para el Avance del equipo, se requiere que el miembro impulsor sea el engranaje Solar, del conjunto de engranajes Planetarios de avance y el miembro detenido sea la Corona. Con lo anterior se consigue que el Porta Planetario central gire en el mismo sentido que el engranaje solar pero a una menor velocidad. (Finning, 2006)



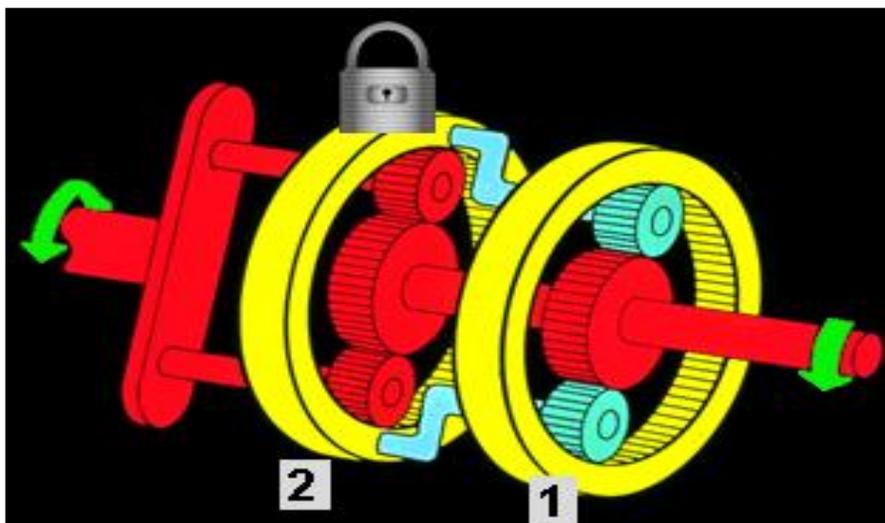
**Figura 52.** Engranajes en Acoplamiento de Avance. (Caterpillar, 2005)

- **Retroceso (R):** Para el Retroceso del equipo, se requiere que el miembro impulsor sea el engranaje Solar, del conjunto de engranajes Planetarios de reversa y el miembro detenido sea el Porta Planetario del mismo conjunto. Con lo anterior se consigue que la Corona del conjunto de engranajes Planetarios para Reversa gire en sentido contrario al del impulsor.



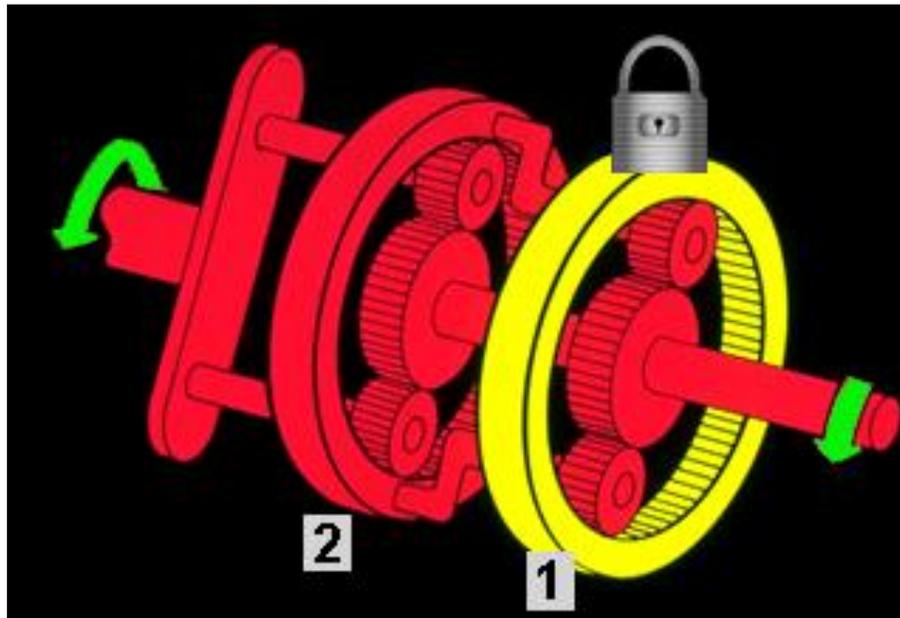
**Figura 53.** Engranajes en acoplamiento de reversa. (Caterpillar, 2012)

- 2° Velocidad.** Para el obtener segunda velocidad ya sea de retroceso o avance, se requiere que el miembro impulsor sea el Porta Planetario Central y el miembro detenido sea la Corona del conjunto de engranajes planetarios para 2° velocidad. Con lo anterior se consigue que el eje de salida gire en el mismo sentido que el impulsor, pero a más velocidad.



**Figura 54.** Engranajes en Acoplamiento de Segunda Velocidad. (Finning, 2006)

- **1° Velocidad.** Para obtener primera velocidad ya sea de retroceso o avance, se requiere que el miembro impulsor sea el Porta Planetario Central y el miembro detenido sea la Corona del conjunto de engranajes planetarios para 1° velocidad. Con lo anterior se consigue que el eje de salida gire en el mismo sentido que el impulsor. Sólo la resistencia a la rotación que experimenta el eje de salida permite la transmisión del movimiento. (Finning, 2006)



**Figura 55.** Engranaje en acoplamiento de Primera Velocidad. (Finning, 2006)

Finalmente, para obtener dirección y velocidad se deben detener a la vez más de un miembro de distintos conjuntos de engranajes planetarios.

- **1° Velocidad de avance (1° F).** Corona del conjunto de engranajes planetarios para avance y corona del conjunto de engranajes planetarios para 1° velocidad detenidas.

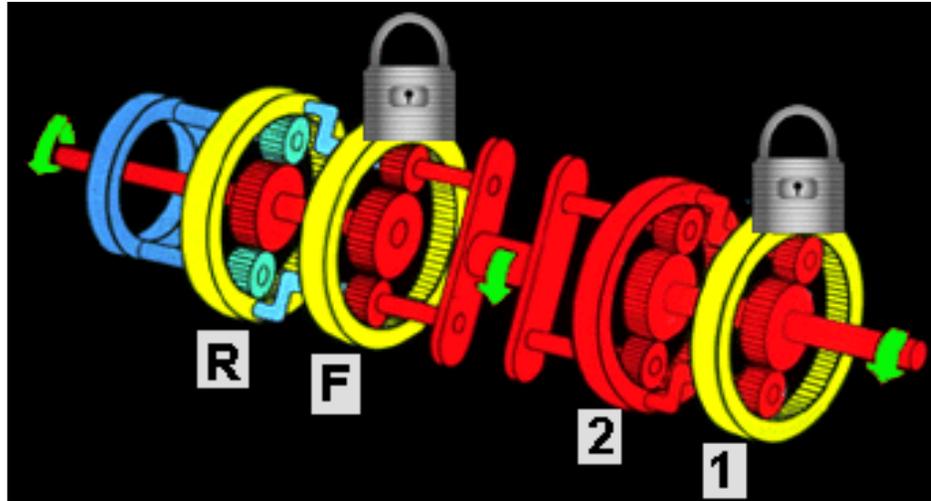


Figura 56. Engranajes en Primera Velocidad Detenida. (Finning, 2006)

- **2° Velocidad de avance (2° F).** Corona del conjunto de engranajes planetarios para avance y corona del conjunto de engranajes planetarios para 2° velocidad detenidas.



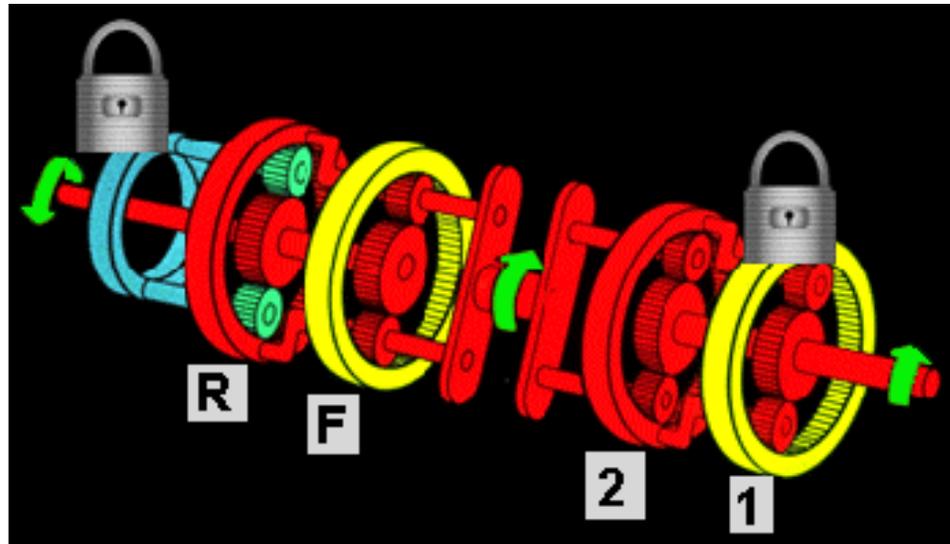
Figura 57. Engranajes en Acoplamiento de Segunda Velocidad Detenida. (Caterpillar, 2005)

- **2° Velocidad de retroceso (2° R).** Porta Planetario frontal y Corona del conjunto de engranajes planetarios para 2° velocidad detenidas.



**Figura 58.** Engranajes en Acoplamiento de Segunda Velocidad de Retroceso.  
 (Caterpillar, 2005)

- 1° Velocidad de retroceso (1° R).** Porta Planetario frontal y Corona del conjunto de engranajes planetarios para 1° velocidad detenidas.

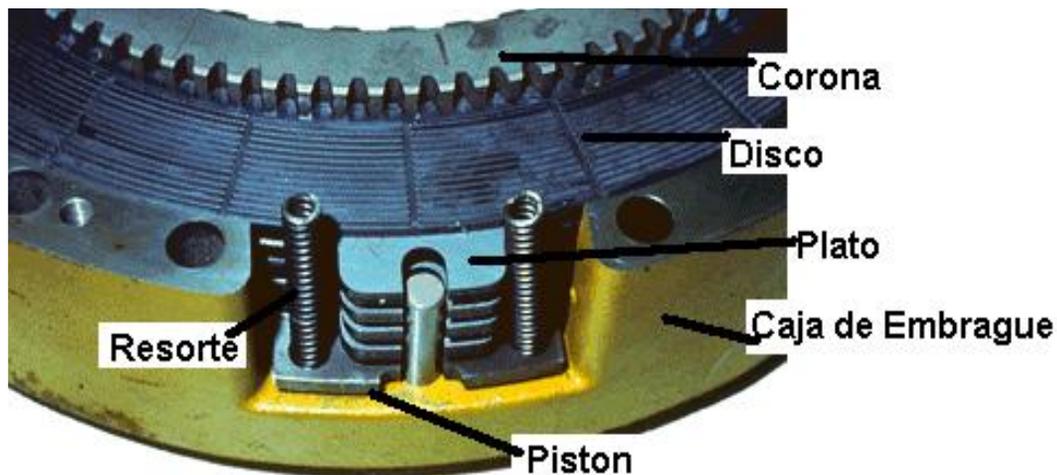


**Figura 59.** Engranajes en Acoplamiento de Primera Velocidad de Retroceso.  
 (Caterpillar, 2005)

- **Embragues de la servotransmisión.** El conjunto de embrague para la Servo Transmisión está formado por una distribución de Discos y Platos posicionados alternadamente además de un Pistón actuado hidráulicamente (Ver Figura 60). Todos los componentes del conjunto del Embrague se ubican al interior de la caja de embrague.

La acción hidráulica permite que el pistón actúe sobre los discos y platos para que la fricción entre ellos permita detener un determinado miembro del conjunto de engranajes planetario y así obtener el movimiento deseado en el eje de salida de la servo transmisión.

La desaplicación de un embrague en particular se consigue con el alivio del aceite a presión que actúa sobre el pistón del Embrague ayudado por resortes que permiten evitar la fricción entre discos y platos. (Finning, 2006)



**Figura 60.** Embrague de Transmisión Planetaria. (Caterpillar, 2005)

Los Discos poseen dientes internos que engranan con los dientes externos de la Corona.

Los Platos poseen una ranura que sirve de guía para la fijación de los mismos.

La caja del embrague es independiente para cada conjunto de embrague que existe en la transmisión.

Los Resortes se ubican entre la caja del embrague y el pistón del embrague

Los resortes mantienen al embrague desenganchado.

**2.8.2.2 Transmisión de Contraeje.** Las Servo Transmisiones de Contra eje se caracterizan por poseer menos piezas y menos peso en comparación a la Servo Transmisión de engranajes Planetario (Ver Figura 62).

Este componente es el encargado de portar los engranajes, válvulas de control electrohidráulico y paquetes o clutch que permiten ser enganchados por mandos electrohidráulicos, para poder seleccionar las gamas de velocidades y cambios de marcha de la máquina. (Caterpillar, 2015)

En este equipo hablaremos de la transmisión de contra ejes.

La Figura 61 muestra los componentes del embrague de la Servo Transmisión de Contra Eje

Estos son:

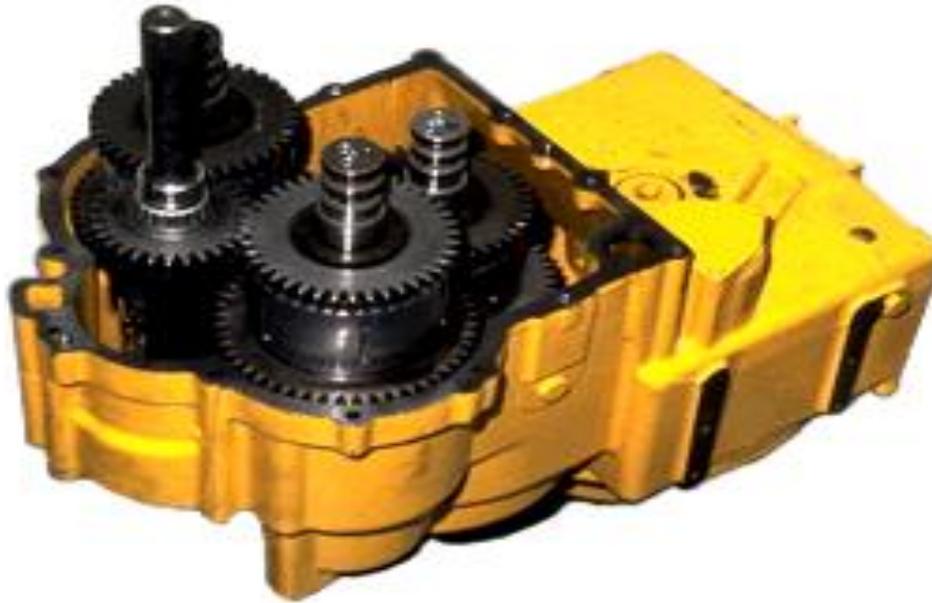
1. Pistón de embrague (Con sello interno y externo).
2. Discos y platos.

Los platos poseen estrías externas que se engranan a las estrías internas de la caja del embrague. Los platos giran junto a la caja del embrague. Los discos tienen dientes internos que se engranan a los dientes externos de la masa.

3. La masa posee en su extremo estrías en donde engrana el engranaje de salida.



**Figura 61.** Desensamble de Transmisión de Contraeje.(Autores, 2015)



**Figura 62.** Engranajes de transmisión de Contraeje. (Caterpillar, 2015)

La transmisión de Contra Eje posee engranajes rectos de engrane constante.

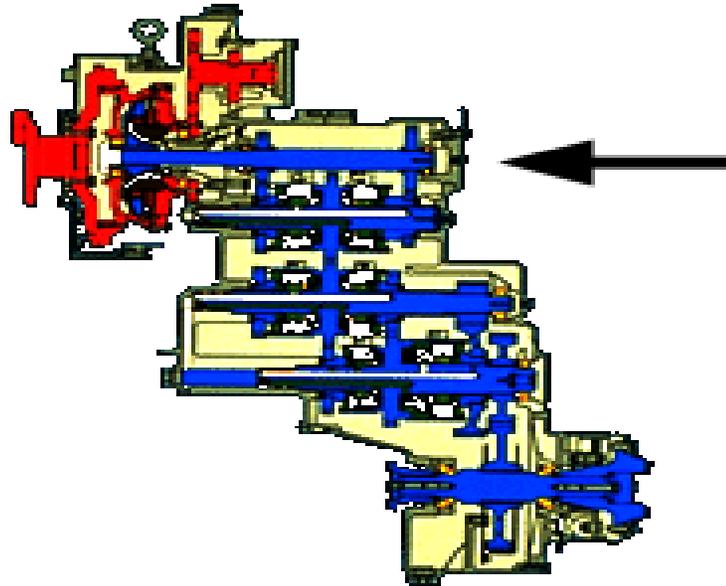
Los cambios de dirección y velocidad se logran enganchando varios conjuntos de embragues.

Existe una bomba de engranajes de desplazamiento positivo para todo el sistema hidráulico de la transmisión que está engranada al convertidor de par.

El flujo de potencia a través de la transmisión en neutral es mostrado en la Figura siguiente:

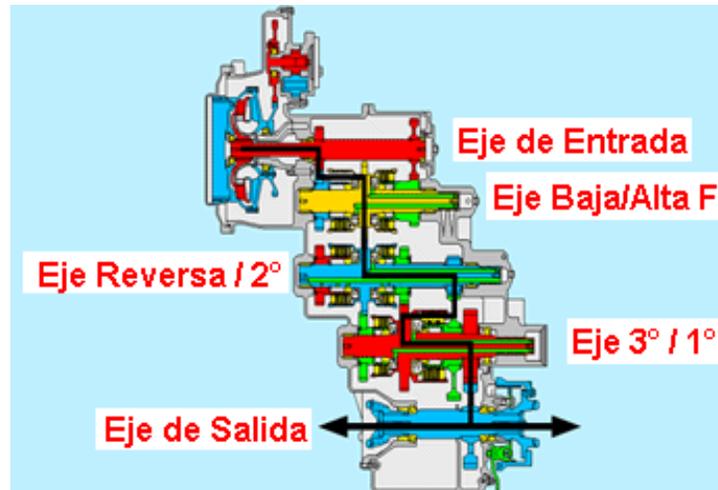
La potencia proveniente del Convertidor es transferida a la transmisión a través del conjunto del eje de entrada de la transmisión.

Debido a que los embragues de retroceso o de avance no están enganchados, no hay transferencia de Potencia desde el conjunto del eje de entrada a ningún conjunto de contra eje o eje de salida. (Caterpillar, 2012)



**Figura 63.** Dirección de Flujo de Potencia en Primera de avance. (Finning, 2006)

- 1° en avance.** La Figura 63, muestra el flujo de potencia para 1° en avance. Con el embrague de avance enganchado, la potencia se transmite desde un engranaje en el eje de entrada a un engranaje en el eje de baja /alta de avance. El engranaje en el eje de baja / alta de avance impulsa un engranaje en el eje de retroceso/ segunda. La potencia se transmite desde un engranaje en el eje de retroceso/ segunda a un engranaje en el eje de tercera /primera. Cuando el embrague del engranaje de 1° está enganchado, la potencia se transfiere desde el engranaje al eje. El engranaje en el eje de tercera /primera transfiere potencia al engranaje en el eje de salida. (Caterpillar, 2012)



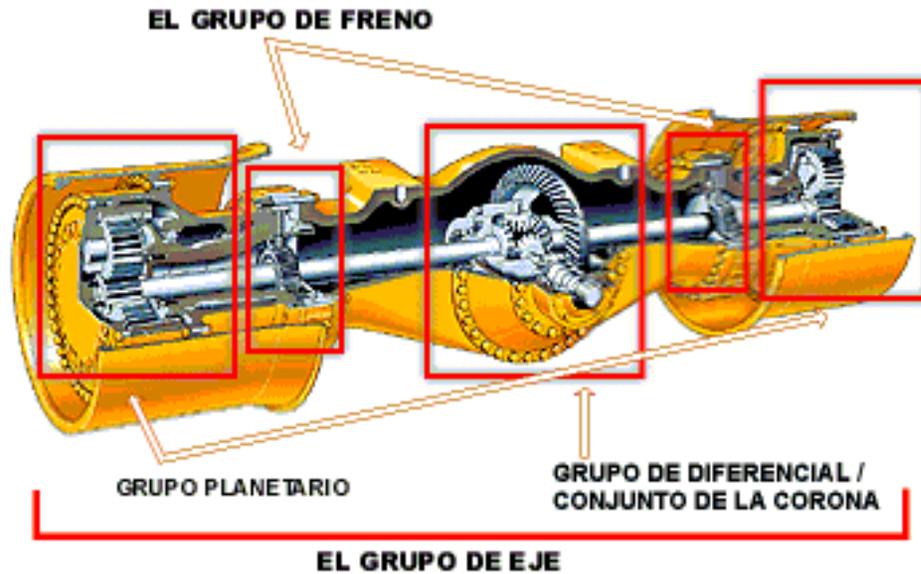
**Figura 64.** Flujo de potencia en Segundo Retroceso. (Finning, 2006)

- **2° en retroceso.** La Figura 64, muestra el flujo de potencia para 2° En Retroceso. Con el embrague de retroceso enganchado, la potencia se transmite desde el engranaje en el eje de entrada al engranaje de retroceso/ segunda. Cuando el embrague del engranaje de segunda está enganchado, la potencia fluye desde el eje de retroceso/ segunda a un engranaje que está engranado a otro engranaje en el eje de tercera/ primera. Esto transmite potencia a un engranaje que está engranado con otro engranaje en el eje de salida el cual hace girar al eje. (Caterpillar, 2012)

## 2.9 Diferencial

El grupo diferencial está formado básicamente por dos sistemas: un grupo cónico y una caja de diferencial. El grupo cónico es el encargado de reducir, transmitir y convertir el movimiento que recibe del cambio de velocidades. El diferencial tiene como misión adoptar un giro independiente a las ruedas, según el recorrido que efectúe cada una de ellas (Ver Figura 65).

El grupo cónico está formado por el conjunto piñón y corona que se encarga de realizar las funciones de reducción de la velocidad y transmisión entre ejes. En los vehículos con motor longitudinal el Piñón de ataque y la corona son cónicos para orientar el giro de los ejes hacia la dirección de las ruedas. (Caterpillar, 2012)



**Figura 65.** Grupo de Diferencial, Frenos y Mandos Finales. (Finning, 2006)

**2.9.1 Funcionamiento.** El piñón de ataque recibe el movimiento del cambio de velocidades, y lo transmite a la corona, dispuesta en posición transversal para transmitir el movimiento a las ruedas.

La reducción de la velocidad se consigue al disponer el piñón de un menor número de dientes que la corona, con lo que también se consigue por ello un aumento del par.

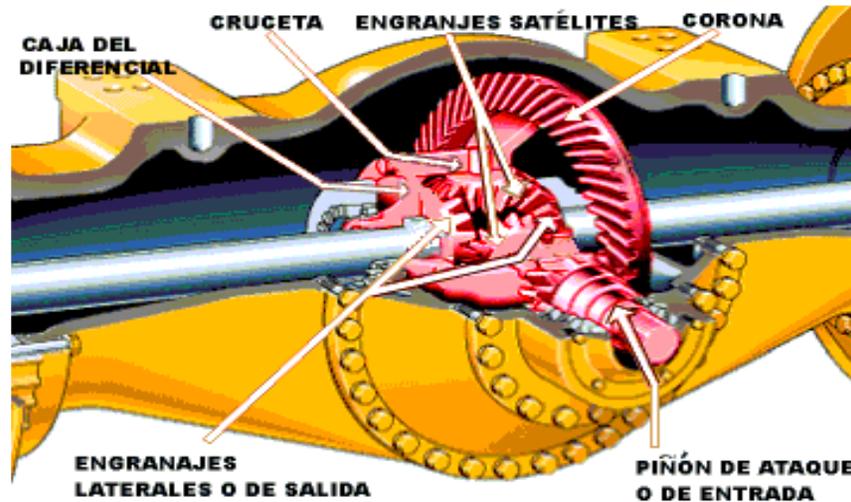
La relación de desmultiplicación está comprendida entre 3:1 y 6:1 que dependerá del tamaño de las ruedas y de la potencia del motor.

Los grupos cónicos más utilizados son los de engranajes helicoidales, y de engranajes hipoidales. Los primeros son engranajes cónicos con dientes helicoidales, en los cuales los ejes del piñón y la corona son concurrentes, es decir, si los prolongáramos imaginariamente,

Se cortarían en el centro del conjunto. En el caso de los hipoides, los ejes no son concurrentes, de forma que el Piñón está más bajo respecto al centro de la corona, por lo que se consiguen dientes más largos y más robustos. (Cuesta, 2003)

El piñón de ataque recibe potencia desde el eje de entrada y se conecta con la corona a 90°.

- La corona a su vez, está conectada a la caja del diferencial la cual contiene a la cruceta, engranajes satélites y engranajes laterales o de salida que transmiten movimiento a los ejes, mandos finales y ruedas.
- Los componentes del Grupo del Diferencial y su ubicación quedan especificados en la Figura 66.



**Figura 66.** Grupo de Diferencial de Potencia. (Finning, 2006)

El conjunto de la Corona se muestra en la Figura 66 y consta del piñón de ataque o de entrada y de la corona.

El piñón de ataque hace girar a la corona, la corona debido a su mayor diámetro gira a menor velocidad que el piñón de ataque.

El piñón de ataque se apoya en cojinetes cónicos ubicados en la caja del piñón.

La corona está apernada a la caja del diferencial y la hace girar para la transmisión de potencia. (Ferreyros Caterpillar, 2005)



**Figura 67.** Desarmado de Diferencial. (Autores, 2015)

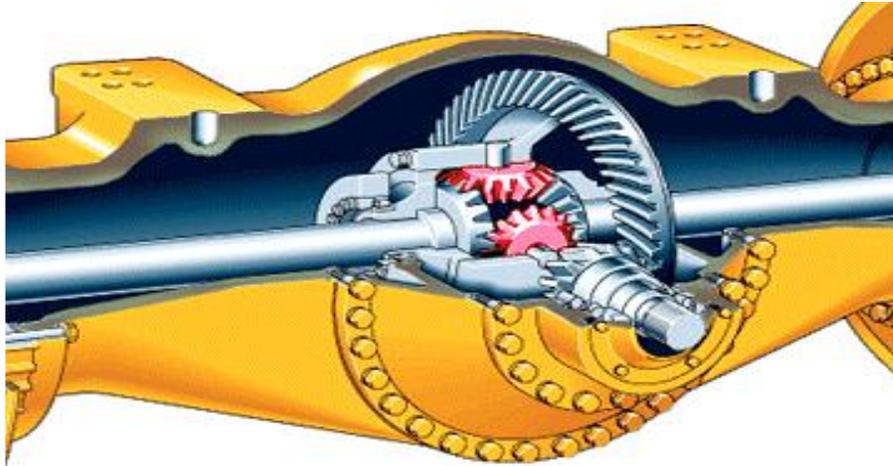
El Juego del Diferencial, entrega potencia equilibrada a los mandos finales para transferirla a las ruedas.

Los componentes son:

- Caja del diferencial.
- Engranajes satélites.
- Engranajes laterales.
- Cruceta.
- **Engranajes satélites.** Los Engranajes Satélites, Ver Figura 68, están montados en el eje de la cruceta y transmiten potencia desde la caja del diferencial a los engranajes laterales y desde estos a los ejes laterales o Palieres.

Los Engranajes Satélites permanecen inmóviles mientras la máquina se mueva en línea recta. Los Engranajes Satélites rotan en el eje de la cruceta y se traslada a través de los engranajes laterales cuando se produce un giro o cuando patinan las ruedas.

Cuando la máquina efectúa un giro Engranajes Satélites dan vueltas en torno a los engranajes laterales para que las ruedas puedan girar a distinta velocidad. (Cuesta, 2003)



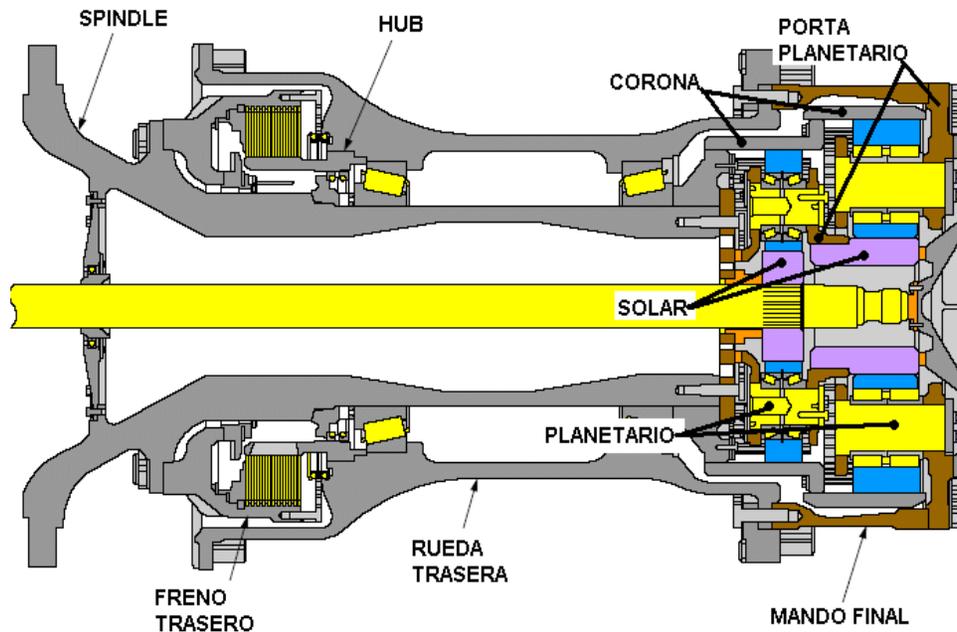
**Figura 68.** Crucetas y Ejes del Diferencial. (Finning, 2006)

La cruceta es impulsada por la caja del diferencial y sirve de montaje a los piñones diferenciales.

### 2.10 Mando final

El grupo planetario, o mando final proporciona la última reducción de velocidad y aumento de torque en la rueda (Ver Figura 69).

Puede ser de reducción simple o doble.



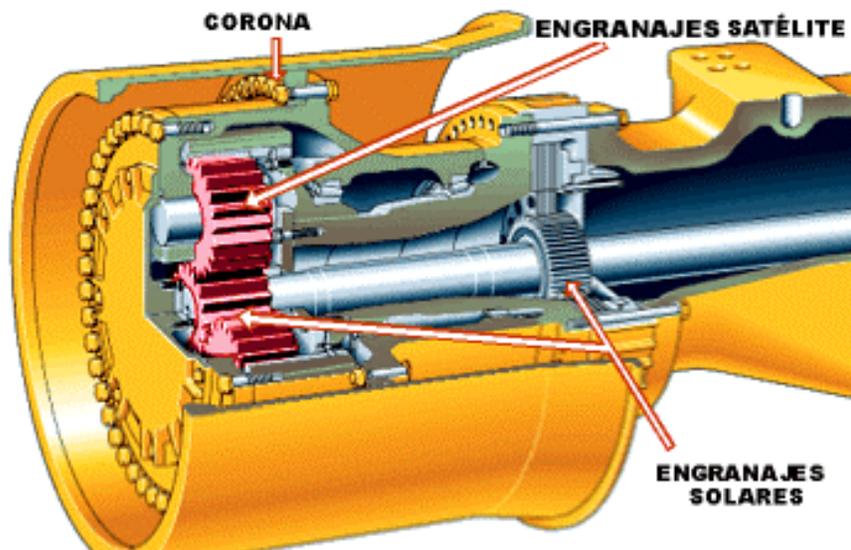
**Figura 69.** Grupo de Mando Final y freno. (Caterpillar, 2005)

**2.10.1 Funcionamiento.** La Figura 70 muestra una aplicación del grupo planetario con doble reducción de velocidad, es decir, dos conjuntos de engranajes planetarios forman el mando final.

En la primera reducción el engranaje Solar es el miembro impulsor y el miembro impulsado es el Porta Planetario el que está conectado al engranaje Solar de la segunda reducción, el que pasa a ser el miembro impulsor para la segunda reducción y el miembro impulsado es el Porta Planetario, el que está apernado a la rueda trasera.

En ambos casos, la velocidad se ha reducido, pero se ha incrementado el torque a las ruedas. (Caterpillar, 2012)

**2.10.2 Partes del mando Final.** Consiste de: Corona, Porta planetario, Engranajes planetarios y Engranaje Solar.



**Figura 70.** Mando Final y Engranajes. (Finning, 2006)

**2.10.3 Lubricación de sistemas de transmisión en camiones mineros.** En la actualidad se persigue como un objetivo principal, el incremento del tiempo de uso de los elementos de una máquina, lo que se alcanza con un diseño, montaje y uso adecuados. Dentro de las condiciones de trabajo de los equipos juega un papel vital la lubricación, con el fin de evitar el contacto metal-metal de las superficies, lo que hace que disminuya la fricción, desgaste, las pérdidas de energía y se incremente la vida útil de dichos elementos. (Cuesta F. D., 2003)

Sin el empleo de un lubricante entre dos superficies que se desplazan en movimiento relativo, la una con respecto a la otra, sería imposible mantener una maquina en movimiento por mucho tiempo, llegando a soldarse todos los elementos que la constituyen y convirtiéndola en un montón de chatarra en unos cuantos minutos.

Cualquier aceite que se coloque entre estas superficies, con el fin de disminuir la fricción, ayuda también a evacuar el calor generado. (Cuesta F. D., 2003)

El trabajo continuo de las transmisiones de potencia de los camiones mineros, exige grandes esfuerzos de rotación y traslación en estos sistemas, debido al transporte de grandes volúmenes de roca y a la irregularidad de las vías por donde se desplazan estas máquinas. Por todo esto es muy importante que los sistemas y aceites de lubricación, sean lo más eficientes posibles en la lubricación de estos mecanismos.

**2.10.4 Tipos de aceites.** En esta investigación nos enfocaremos en la utilización de los lubricantes para automotores que tienen varias clasificaciones.

Los principales fabricantes de maquinaria y equipos en general exigen que los lubricantes que se deben utilizar en sus equipos, cumplan ciertas especificaciones y exigencias acordes con la severidad de las condiciones de diseño y servicio de sus máquinas. Con el fin de unificar criterios, distintas corporaciones y organismos han desarrollado procedimientos de ensayo normalizado, capaz de medir las propiedades del lubricante en cuanto a su calidad, identificación, detección de adulteraciones y contaminaciones, así como vigilancia de su comportamiento en servicio.

Los de mayor uso en nuestro país son las correspondientes a ASTM (*American Society of testing materials*) que define los métodos de evaluación y los objetivos de calidad. SAE (Asociación de ingenieros de automotores) que define la necesidad. Y la

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 088
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

API (Instituto americano del petróleo) que desarrolla el lenguaje al consumidor. (Perez, 2011)

**2.10.5 Aceites lubricantes para motores diésel.** La API los clasifica con dos letras: la primera, la C, indica el tipo de motor, en este caso diésel, y la segunda representa las condiciones bajo las cuales trabaja el motor.

CA: Para motores diesel sometidos a trabajo liviano.

CB: Para motores diésel sometidos a trabajo moderado (camiones, buses, etc.) y que utilicen combustible de buena calidad.

CC: Para motores diésel no turboalimentados, pero que trabajan bajo condiciones severas.

CD, CE: Para motores diésel turboalimentados o no y que trabajan bajo condiciones críticas (maquinaria pesada). Garantizan máxima protección contra la formación de depósitos a alta y baja temperatura, desgaste, oxidación y corrosión. Estas categorías cubren la CA, CB, y CC. (Albarracin, Propiedades físico-químicas de los lubricantes, 2000)

- **Especificación API CE.** Esta especificación reemplaza la CD que se venía utilizando desde hacía más de 30 años. Uno de los factores que más incidió en el desarrollo de esta nueva generación de aceites fue la necesidad que tenían los fabricantes de motores diésel de sacar al mercado motores cuyo diseño contemplara holguras menores entre la corona del pistón y la camisa para reducir las emisiones y mejorar la economía de combustible; primer anillo superior más elevado; segundo anillo de acción combinada, o sea que desempeñe simultáneamente las funciones de anillo raspador de aceite y anillo de compresión; y por último, mayores eficiencias para lograr un menor consumo de combustible. Al lubricar estos motores con los tradicionales API CD se observaron los siguientes problemas:

- Depósitos y gomas en las ranuras de los pistones con pegamiento de anillos.
- Incremento en el consumo de aceite.
- Pulido de las paredes de los cilindros ocasionando un mayor desgaste al no permitir una adecuada adherencia de la película lubricante.

Esto condujo a que la API y la SAE propusieran el desarrollo de una nueva generación de aceites que se llamaría CE y que debería cumplir con las especificaciones de la clasificación CD y de otras como la MACK EO-K/2, la Cummins NTC 400 y la especificación militar MIL-L 2104D. Estas pruebas controlan el consumo de aceite, el desgaste de los anillos, los depósitos en los pistones y la cantidad de material carbonoso en el aceite que aumenta su viscosidad. (Albarracín, Propiedades físico-químicas de los lubricantes, 2000)

- **Especificación CF2 y CF4.** A partir de 1992 el API ha aprobado la formulación y comercialización de la nueva generación de aceites CF2 y CF4 para motores diésel turboalimentados de 2 y 4 tiempos respectivamente. Esta especificación cubre todas las anteriores y controla mejor los depósitos y el consumo de aceite.

En la actualidad se encuentran en desarrollo las siguientes categorías API: CF, CF-II y CG-4. (Albarracín, 2000)

También es importante especificar el TBN (Numero básico total) que es la alcalinidad del aceite nuevo y especifica la cantidad en miligramos de un ácido (HCL) que es necesario añadirle a cada gramo de aceite nuevo para que neutralice las sustancias básicas que posee. Esta característica se refiere más a la detergencia de los aceites automotores que a los de tipo industrial, debido a que los aditivos detergentes, dispersantes aumentan la reserva alcalina de aceite.

**Tabla 1.** Especificaciones API de aceite Motor.

Motores a Gasolina				Motores a Diésel			
Categoría	Año lanzado	Duración	Vigencia	Categoría	Año lanzado	Duración	Vigencia
SA	1900	30 años	Obsoleto	CA	1900	30 años	Obsoleto
SB	1930	34 años	Obsoleto	CB	1930	25 años	Obsoleto
SC	1964	4 años	Obsoleto	CC	1955	24 años	Obsoleto
SD	1968	8 años	Obsoleto	CD	1979	9 años	Obsoleto
SW	1972	9 años	Obsoleto	CE	1988	3 años	Obsoleto
SF	1980	6 años	Obsoleto	CF	1991	2 años	Obsoleto
SG	1989	2 años	Obsoleto	CF-4	1993	2 años	Obsoleto
SH	1992	4 años	Obsoleto	CG-4	1995	4 años	Obsoleto
SJ	1997	Actual	Obsoleto	CH-4	1999	Actual	Vigente
SL	2001	Actual	Vigente	CI-4	2002	Actual	Vigente
SM	2005	Actual	Vigente	CJ-4*	2005	Actual	Vigente
SN	2010	Actual	Vigente				

\* Requerido por motores con tratamiento de gases escape

Fuente: (Cuesta, 2003)

En la Tabla 1 se puede apreciar la evolución del nivel de protección de los aceites para motores diesel y gasolina.

La calidad del aceite automotor está relacionada con el TBN del aceite. Por lo general los aceites para motores de combustión interna tienen un TBN comprendido entre 7 y 15.

El TBN previene la corrosión del motor, la herrumbre, el desgaste y neutraliza los ácidos para permitir que los aditivos funcionen.

El TBN mínimo que debe tener un aceite automotor se determina de acuerdo con el porcentaje de azufre que posea el combustible; este se multiplica por 20 y da el TBN mínimo. Así por ejemplo, en un motor en el cual se va a utilizar un combustible con un contenido de azufre de 0,5%, el TBN mínimo que debe poseer el aceite con el cual se va a lubricar debe ser de 10.

En el mercado se consiguen aceites que sirven tanto para motores a gasolina como diesel y viceversa; tal es el caso de un aceite de clasificación API CE/SF, en donde por la especificación CE se puede emplear para lubricar motores diesel turboalimentados fabricados a partir de 1983 y por la especificación SF se puede utilizar para lubricar motores a gasolina desde el año 1987. (Albarracín, Análisis de aceite, un instrumento valioso en el mantenimiento preventivo, 2000)

**Tabla 2.** Clasificación SAE de los aceites

GRADOS SAE	TEMPERATURA MÍNIMA DE UTILIZACIÓN (°C)	VISCOSIDAD CINEMÁTICA cSt @ 100°C	VISCOSIDAD A 100 °C
0 W	- 30	3,8	
5 W	- 25	3,8	
10 W	- 20	4,1	
15 W	- 15	5,6	
20 W	- 10	5,6	
25 W	- 5	9,3	
20		5,6 – 9,3	Fluido
30		9,3 – 12,5	Semifluido
40		12,5 – 16,3	Semifluido
50		16,3 – 21,9	Espeso

Fuente: (www.maquinariaspesadas.org, 2015)

En la tabla 2 se pueden apreciar las aplicaciones de aceites para motor diesel, según la clasificación por viscosidad según la SAE, teniendo en cuenta su comportamiento y aplicabilidad de acuerdo a las temperaturas de servicio de cada aceite. Los aceites más utilizados en la lubricación de motores diesel, son aquellos con especificaciones 15W40, 20W50 o 10W40, estas aplicaciones varían según los climas de cada país o terreno donde trabajen los motores diesel. (Albarracín, 2000)

**2.10.6 Aceites para Transmisiones.** La transmisión del vehículo transfiere la fuerza del motor a las ruedas a diferentes velocidades y cargas. Tiene discos o conos de bronce u otro material para frenar y sincronizar los engranajes para evitar el desgaste al realizar los cambios de velocidades. También recibe todos los golpes de las ruedas, vibraciones del cardán y el motor y fricción del roce entre los engranajes. (Hobson, 2002)

La calidad de estos aceites se fundamenta en el tipo de engranajes automotores y en la protección anti desgaste que se requiera. Identifica el tipo de servicio de acuerdo con dos letras. (GL: *Gear Lubricant*) y con un número del 1 al 6 (Ver Tabla 3).

**Tabla 3.** Especificaciones aceite Transmisión.

<b>ESPECIFICACIONES ACEITE TRANSMISIÓN</b>	
<b>API- GL-1</b>	Para transmisiones de ejes con engranaje helicoidal, y tornillo sin fin y en determinadas transmisiones manuales. Pueden contener aditivos: antioxidantes, anti-herrumbre, anti espuma y agentes que rebajen el punto de solidificación
<b>API- GL-2</b>	Para transmisiones con tornillos son fin en las que un aceite GL-1 no es suficiente
<b>API- GL-3</b>	Para transmisión con ejes de engranaje helicoidales que funcionan en servicio y velocidad moderada, y a las que un aceite GL-1 no les es suficiente
<b>API- GL-4</b>	Para transmisiones con engranaje helicoidal y transmisiones hipoides especiales aplicadas a vehículos que funcionan con velocidad elevada y con par bajo o con velocidad reducida y par elevado. Los aditivos antidesgaste y extrema presión son utilizados
<b>API- GL-5</b>	Para transmisiones con engranaje helicoidal y transmisiones hipoides especiales aplicadas a vehículos que funcionan con velocidad elevada y par “extremadamente débil”, y velocidad reducida y par elevado. Aditivos contra el desgaste y extrema presión son añadidos
<b>API- GL-6</b>	Para diferenciales hipoidales con grandes distancias entre ejes de la corona y de Piñón. Obsoleta. Cumplan norma FORD ESW M2 C.105 A

Fuente: (Hobson, 2002)

**2.10.6.1 Principales funciones de los aceites para Transmisión**

- Minimizar la fricción y el desgaste Controlar la fricción para lograr el mejor desempeño del embrague y el engrane o anillos de sincronización.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 088
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

- Soportar la carga (alto torque - baja velocidad, carga de choque).
- Disipar el calor Reducir la vibración y el ruido.
- Remover los residuos contaminantes de la zona de contacto Evitar la corrosión - Proteger contra las picaduras y la transferencia de metales.

### Formulación

- Aceites Base – para ofrecer las propiedades visco métricas fundamentales.
- Aceites base HVI “convencionales”.
- Aceites base sintéticos, ésteres.
- Aditivos /Paquetes.
- Conforman un 3 a 20 % del aceite formulado.
- El azufre /fósforo para la mejor protección EP conforma cerca del 80% del paquete
- Los di-tiofosfatos de Zinc buenos para brindar protección contra el desgaste por deslizamiento, pero no tan buenos para la EP (el Zn DTP utilizado en los aceites para motores y en los fluidos de transmisión para tractores).
- Anti oxidantes para evitar que se espese y se generen depósitos.
- Dispersantes sin ceniza para suspender las partículas de impurezas.
- Agentes anti óxido.
- Agentes para la expansión de los sellos.

Los aceites lubricantes para transmisiones están diseñados para proteger contra el desgaste en los contactos menos severos con diversos aditivos EP (extrema Presión) además deben ser compatibles con los materiales de los engranes de sincronización.

Las transmisiones pueden usar aceites de baja viscosidad para optimizar el ahorro de combustible.

Los aceites para transmisión se ubican generalmente en niveles de desempeño GL-4 y con frecuencia los fabricantes OEM requieren pruebas adicionales sobre la compatibilidad con los engranes de sincronización. (Albarracín, 2000)

Las transmisiones de equipo pesado son diseñadas para proveer más de 18,000 horas de servicio sin reparaciones, con cambios de aceite y monitoreo de contaminantes de acuerdo al plan de mantenimiento.

En Colombia el promedio de vida útil de las transmisiones de equipo pesado varía entre 6,000 y 8,000 horas de servicio, aunque conocemos transmisiones de equipo pesado (en Colombia) que pasan de las 24,000 horas sin reparaciones. ¿Cuál es el secreto de esta larga vida? El aceite debe fluir exactamente como fue diseñado, llevar el calor al enfriador y resistir la oxidación. (Albarracín, 2000)

Para entender el cuidado del equipo y el porqué de los procedimientos de mantenimiento, tenemos que entender el sistema básico de funcionamiento de sus piezas.

El aceite no puede ser muy viscoso y no puede tener aditivos (azufre/fósforo) que cambien las superficies; esto elimina el uso de aceites de transmisión GL-5. El aceite a utilizar debe tener alta resistencia a la oxidación y alta detergencia para evitar la formación de barnices; esto también elimina el uso de aceites GL-1 y aceites hidráulicos industriales (tipo Hidráulico 68). No puede tener polímeros para mejorar su viscosidad ó índice de viscosidad, por el efecto de cizallamiento en la alta velocidad; esto elimina el uso de aceites multigrados, a no ser que sean sintéticos. (Pérez, 2011)

Para utilizar el torque en la transmisión, existe un grupo de embragues de diferentes materiales y diseños de canales o ranuras para desplazar el aceite y transferir la fuerza al engranaje elegido. Si el aceite es muy viscoso o contiene aditivos de adherencia permanente, no se desplaza de la superficie, causando el patinado de los discos, aumentando la temperatura del aceite y las superficies. Si el aceite tiene muchos polímeros para mantener su viscosidad, estos se rompen, causando una pérdida de viscosidad y reducción en lubricación hidrodinámica. (Albarracín, 2000)

La transmisión, el diferencial y los mandos finales están compuestos de engranajes que requieren lubricación en condiciones extremas. El aceite tiene que mantener su viscosidad para lograr una buena lubricación hidrodinámica. Esto elimina el uso de aceites multigrados de motor y otros con polímeros para mantener su viscosidad.

También debe tener aditivos anti-desgaste para evitar desgaste prematuro de las superficies. Aunque en esta parte de la transmisión se podría utilizar aditivos tradicionales de extrema presión, por estar en el mismo sistema de los embragues y el convertidor debemos utilizar aceites con aditivos que no se adhieran permanentemente. (Albarracín, 2000)



**Figura 71.** Imagen de una transmisión de aplicación en camiones mineros. (Donaldson, 2015)

La transmisión, el diferencial y los mandos finales están compuestos de engranajes que requieren lubricación en condiciones extremas (Ver Figura 71). El aceite tiene que mantener su viscosidad para lograr una buena lubricación hidrodinámica. Esto elimina el uso de aceites multigrados de motor y otros con polímeros para mantener su viscosidad. (Donaldson, 2015)

También deben tener aditivos anti-desgaste para evitar desgaste prematuro de las superficies. Aunque en esta parte de la transmisión se podría utilizar aditivos tradicionales de extrema presión, por estar en el mismo sistema de los embragues y el convertidor debemos utilizar aceites con aditivos que no se adhieran permanentemente.

En total, una transmisión puede tener siete materiales diferentes. El aceite tiene que ser compatible con todos esos materiales, no disolverlos, mantener su viscosidad, evitar desgaste, mantener su película en los engranajes y rodamientos, desplazarse de los embragues y discos de freno en el momento ideal de contacto, transferir calor de los componentes al exterior, evitar o limpiar depósitos de barniz y resistir mil horas de servicio eficiente entre cambios. Hoy en día los aceites para motor son tan resbalosos que no permiten la fricción necesaria entre superficies que tienen que transmitir torque. (Albarracin, 2000)



**Figura 72.** Imagen de transmisión Caterpillar. (Smith, 2015)

Para cumplir con todos estos requerimientos, Caterpillar diseñó un banco de pruebas y un aceite que podría cuidar todos estos aspectos y proveer unas 18,000 horas de servicio para su equipo. Los aceites que pasan estas pruebas tienen la clasificación Caterpillar® TO-4. Komatsu encontró que el mismo aceite daría una vida larga a su equipo, la especificación Komatsu es TO30 o TO50, asociado con su viscosidad (También conocido como Komatsu® Power Train TO). (Caterpillar, 2012)

Para cumplir con estas pruebas el aceite tiene que tener más de 2800 ppm de detergente para poder mantener el sistema limpio y libre de barniz. También requiere unas 1100 ppm de fósforo y 1200 ppm de zinc para evitar el desgaste, además de varios otros aditivos para modificar la fricción y deslizarse sobre las superficies. Cuando está totalmente formulado con todos sus aditivos, tiene que tener un coeficiente de fricción dinámica entre 0.85 y 1.3, manteniendo un valor entre 0.95 y 1.25 después de 25,000 ciclos de trabajo. (Albarracin, 2000). Esto quiere decir que tiene que desplazarse de los discos de embragues y frenos dejándolos limpios para que trabajen con su propio coeficiente de fricción. Como ejemplo, notamos que la goma seca tiene un coeficiente de fricción de 1.12, goma mojada con agua tiene 0.92, goma con aceite de motor 0.59,

Teflón sobre teflón tiene un valor de 0.04, mientras un aceite ATF Dexron tiene un valor de 0.11. No podemos darnos el lujo de asumir que todos los aceites son iguales o confiar que al palparlo con el dedo verificaremos su calidad.

En cuanto a su Viscosidad cada equipo tiene una viscosidad correcta para sus componentes de acuerdo a la temperatura del ambiente. Las viscosidades normalmente recomendadas son SAE 30 y SAE 50. Estas son las mismas viscosidades disponibles para motores, pero hay que especificar siempre un aceite que cumpla con las normas API. (Cuesta F. D., 2003)

**2.10.6.2 La Contaminación del Tren de Fuerza.** Hay que acordarse de que este equipo trabajó en condiciones de polvo, agua, residuos mineros y otros contaminantes. El hecho que la fábrica indica un cambio de aceite cada 1000 horas es válido, pero cuando los respiraderos, tapones y retenes están en buen estado. En este ejemplo de una transmisión de una Oruga CAT D7G, se analizó el aceite con el cambio a 1005 horas, pero 20 ppm de sodio que entró de algún río, con 61 ppm de tierra (silicón) y 20 ppm de los 27 ppm de aluminio en forma de polvo o lodo. Los 216 ppm de desgaste y herrumbre de hierro y 285 ppm de corrosión de cobre son evitables si el operador comentaba sus condiciones de trabajo y el mecánico mantenía los filtros y retenes en condiciones originales, o hacer el cambio antes de tiempo por el aviso del operador. (Finning, 2006)

La práctica de lavar el equipo en el río aumenta la probabilidad de contaminar el aceite con agua sucia y causar daños al equipo.

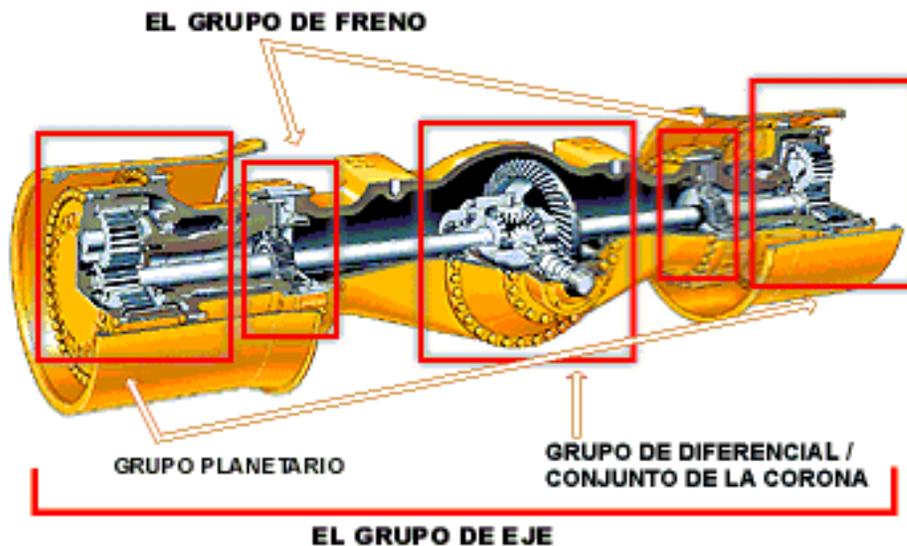
La acumulación de contaminantes en el aceite es una de las razones principales de recomendar cambios de aceite sin extender el intervalo. Al final más vale extender la vida útil del equipo, que el uso del aceite. (Caterpillar, 2012)

**2.10.6.3 La Degradación del Aceite.** Durante las horas de uso el aceite se degrada. Puede perder viscosidad por cizallamiento, o aumentar viscosidad por oxidación. Entre más resbalan las superficies, más caliente el aceite y más pronto se oxida. También se degradan los aditivos, perdiendo su habilidad de mantener las piezas libres de barniz y evitar desgaste. Aquí podemos ver la diferencia entre dos aceites. (Albarracin, 2000)

**2.10.7 Aceites Lubricantes para Ejes diferenciales y mandos finales.** Algunos equipos tienen planetarios, engranajes o piñones donde no hay discos de frenos, embragues u otros componentes donde es importante mantener características especiales de fricción.

**2.10.7.1 Diferenciales separados.** Cuando los diferenciales no tienen frenos ni embragues de desplazamiento limitado, muchas veces se utiliza un aceite de mayor protección contra extremas presiones. Típicamente se utiliza un aceite API GL-5, SAE 80W-90 o SAE 85W-140 con un paquete de aditivos de azufre y fósforo con un mínimo de 60 libras de protección en prueba. Es importante considerar la composición de los elementos, si tiene bronce o cobre, se debe usar TO-4. (Albarracin, 2000)

**2.10.7.2 Grupo Planetario o Mandos Finales.** Si estos componentes no tienen frenos ni piezas de bronce o cobre, también pueden ser lubricados con un aceite API GL-5 SAE 80W-90 o SAE 85W-140 con un paquete de aditivos de azufre y fósforo con un mínimo de 60 libras de protección en prueba Timken. (Albarracin, 2000)



**Figura 73.** Grupo de eje diferencial de potencia. (Finning, 2006)

En estos mecanismos se usan normalmente Aceite lubricante multigrado de extrema presión, empleado en diferenciales de vehículos o en grupos de transmisión y en cajas de cambio manuales donde se solicite un aceite API GL-5. Su alta capacidad de carga le hace especialmente recomendado para diferenciales hipoides aunque también se

utilizan aceites de larga duración para diferenciales y algunas cajas manuales que requieran un nivel de calidad GL-5. Especialmente recomendado para diferenciales de vehículos comerciales y de obra pública, que trabajan bajo severas condiciones y que requieren de un lubricante de altas prestaciones y que cumplan con las actuales normativas de los fabricantes que exigen aceites de largo intervalo de drenaje que permiten duplicar o triplicar el periodo de cambio con respecto a aceites minerales convencionales. (Albarracin, 2000)

**2.10.8 Aceites lubricantes a base de boratos (Technology Isosyn).** La lubricación es uno de los temas más importantes a la hora de hacer funcionar las máquinas, ya que debido a los movimientos constantes de sus componentes, se genera fricción y desgaste prematuro. Durante años los lubricantes se han venido desarrollando y mejorando en sus composiciones físicas y químicas. Los primeros desarrollos históricos se centraban en grasas/aceites de animales o de orígenes vegetales para las primeras máquinas y medios de transporte. Algunos escritos que datan del año 1400 AC mencionan lubricación con grasa animal o sebo, para reducir la fricción en los ejes de las ruedas de los carros. Durante la edad media (AD 450-1450) hubo un desarrollo constante en cuanto al uso de lubricantes, pero no fue hasta AD 1600-1850 (particularmente en la revolución industrial en AD 1750-1850) que la importancia de los lubricantes en cuanto a la reducción de fricción y desgaste fue reconocido. (Hobson, 2002)

Según el avance de los lubricantes, Fue un Militar: Coronel William Drake quien descubrió el aceite el 27 de Agosto de 1859; marcando el comienzo de la industria de petróleo. Hizo su primer pozo de aceite en Titusville, en América en 1859 y este pozo se convirtió en una nueva manera de ofrecer un producto de aceite superior, lo cual aceleró el uso de aceite mineral y aceleró el nacimiento de la era de petróleo. Al principio, los aceites de petróleo no fueron aceptados por la mayoría porque no eran tan buenos como muchos de los productos basados en grasa animal. El aceite crudo no cumplía las funciones de un buen lubricante. Pero, al crecer la demanda de automóviles, también creció la demanda de mejor lubricantes. Los fabricantes de lubricantes enseguida empezaron a identificar que aceite crudo resultaba en mejores lubricantes. En la década

de 1920, los fabricantes de lubricantes empezaron a procesar sus aceites base para mejorar su rendimiento. Ya, en 1923, la Sociedad de Ingenieros de Automotrices clasificaron los aceites de motor por su viscosidad: en ligero, medio y pesado. En aquel entonces los aceites de motor no contenían aditivos y tenían que ser recambiados cada 800-1000 millas (1300-1600km). (Hobson, 2002)

Después con el desarrollo automotriz en 1930, el procesamiento de disolventes y aditivos emergió como una tecnología viable para mejorar el rendimiento de los aceites base con el uso de un disolvente bastante seguro y reciclable. Los aditivos se empezaron a ser usados de manera exponencial en 1947 cuando API (*American Petroleum Institute*) empezó a categorizar los aceites de motor acorde con su severidad de servicio: regular, Premium y uso extensivo. Los aditivos se usaban sólo para alargar la vida útil de los aceites Premium o de uso extensivo. En 1950, se introdujeron los aceites multigrados, que mejoraron el rendimiento de los aceites ante frío y calor. Durante varias décadas, la industria de lubricantes continuó dependiendo mucho en la tecnología de aditivos para mejorar el rendimiento de sus aceites acabados. La calidad de lubricantes sólo mejoró significativamente cuando la industria elaboro mejores aditivos. (Hobson, 2002)

En la actualidad los lubricantes modernos están formulados de una gama de fluidos de base Premium y aditivo de química avanzada. Los aceites base tienen varias funciones, pero primariamente es el lubricante que proporciona una capa fluida que separa las superficies que se mueven o que reduce el calor para mantener un mínimo de fricción y desgaste. Muchas de las propiedades de un lubricante están mejoradas o creadas por la suma de aditivos químicos especiales a los fluidos base.

Debido a estos desarrollos tecnológicos en los lubricantes, tenemos la utilización de boratos como aditivo en los lubricantes. En el medioambiente, el boro se presenta en forma de borato, combinado con el oxígeno y otros elementos. Los boratos son sales o ésteres de ácido bórico. Se encuentran ampliamente distribuidos en la naturaleza y están presentes en los océanos, rocas sedimentarias, carbón, esquistos y suelos. (Hobson, 2002)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 088
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

Esta tecnología permite que los aceites a base de petróleos, se puedan mejorar con la inclusión de este nuevo aditivo a base de boratos, que permiten adherirse más uniformemente a las piezas en movimiento, evitar el desgaste por fricción o calentamiento, y ofrecer cambios de aceite más prolongados. En síntesis estos son los beneficios que nos ofrece esta tecnología:

- Tecnología propia de Chevron a partir de Boratos Inorgánicos.
- Película de Boratos con un espesor de 3 a 5 veces mayor que con la tecnología Azufre-Fósforo.
- Al adherirse por medio de fuerzas eléctricas a la superficie, no genera desgaste en las piezas, y no ataca los sellos y componentes de cobre (No es corrosiva).
- Ahorro de energía y combustible.
- Estabilidad a la oxidación y cambios de temperatura de operación superior.
- Intervalos de drenaje entre 800.000 y 1'200.000 km. (Hobson, 2002)

Actualmente los lubricantes juegan un rol vital en la industria del automóvil e industria de bienes de equipo y maquinaria.

En esta investigación sobre el diseño de este plan tribológico, se propone usar lubricantes Chevron como el lubricante para engranajes Delo Gear Lubricant ESI que es un lubricante de usos múltiples que proporciona una protección de alto nivel. Formulado con la tecnología ISOSYN® conjuntamente con un aditivo de extrema presión a base de borato inorgánico, es la mejor recomendación para sistemas de engranajes expuestos a temperaturas y cargas elevadas. Las pruebas han comprobado que el lubricante para engranajes Delo Gear Lubricant ESI produce una capa protectora contra el desgaste tres a cinco veces más gruesa que la de los lubricantes convencionales para engranajes. Usted puede tener plena confianza en que el lubricante para engranajes Delo Gear Lubricant ESI lubricará, enfriará y protegerá eficazmente los sistemas de engranajes, alejando los residuos del desgaste de las áreas de contacto. Consulte la Hoja de Información Sobre el Producto. (Albarracin, 2000)

También se pueden usar aceites a base de boratos de la gama Delo Synthetic Gear Lubricant que es un producto multigrado de alta calidad para engranes automotrices de servicio pesado. Es manufacturado con aceites básicos sintéticos que poseen una excelente estabilidad térmica y resistencia a la oxidación, un elevado índice de viscosidad y bajo punto de fluidez. El bajo punto de fluidez del Delo Synthetic Gear Lubricant le confiere excelente lubricidad durante el arranque a bajas temperaturas, mientras que al mismo tiempo su alto índice de viscosidad le permite desempeñarse de manera adecuada a altas temperaturas. La disminución en las pérdidas por fricción en la película lubricante y la poca agitación debido a la baja viscosidad del aceite repercuten en una reducción en la temperatura de operación cuando se compara con lubricantes convencionales. (Albarracin, 2000)

**2.10.8.1 Comparación de los lubricantes TDX SAE 15W40 API CI-4 y el Delo 400 MGX SAE 15W40 API CJ-4.** Los lubricantes que se utilizan actualmente en la lubricación del motor son Chevron Ursa Premium TDX SAE 15W40 API CI-4 y el aceite que se propone utilizar en la actualidad es el denominado Delo 400 MGX SAE 15W40 API CJ-4. Entonces analizando los Símbolos de Servicio API con CI-4 y API CJ-4, encontramos que la denominación “CI-4” identifica los aceites formulados para proporcionar un nivel superior de protección frente al incremento de la viscosidad debida al hollín y la pérdida de viscosidad debido a la cizalla en motores diésel. Cuando se comenzó a utilizar, CI-4 identificaba los aceites CI-4 con un nivel de prestaciones superior. Los aceites CJ-4 incluyen todas las prestaciones que un aceite CI-4 debe tener.

La fórmula CI-4 se comenzó a utilizar en el año 2002. Para motores diésel de alta velocidad con ciclos de cuatro tiempos, diseñados para cumplir con las normas de emisiones de gases de escape del año 2004 implementadas en el año 2002. Los aceites CI-4 están formulados para mantener la durabilidad del motor cuando se emplean sistemas de recirculación de gases de escape, y están diseñados para ser utilizados con combustibles diésel con un contenido en azufre de hasta 0.5 % en peso. Puede utilizarse en lugar de aceites CD, CE, CF-4, CG-4, y CH-4. Algunos aceites CI-4 también pueden calificarse como CI-4. (IAP, 2012)

La fórmula CJ-4 para motores diésel de alta velocidad con ciclos de cuatro tiempos, diseñados para cumplir las normas de emisiones de gases de escape para modelos de automóviles en carretera del año 2010 y las normas de emisiones Tier 4 para vehículos extravíaes, así como para modelos de motores diésel anteriores. Estos aceites están formulados para su utilización en todas las aplicaciones con combustibles diésel con un contenido de azufre de hasta 500 ppm. (0.05 % en peso). Sin embargo, el uso de estos aceites con combustibles con contenido de azufre mayor a 15 ppm. (0.0015 % en peso) puede afectar a la durabilidad de los sistemas de pos tratamiento de los gases de escape y/o al intervalo de cambio del aceite. Los aceites CJ-4 son especialmente eficaces en el mantenimiento de la durabilidad del sistema de control de emisiones cuando se emplean filtros de partículas y otros sistemas avanzados de postratamiento de los gases de escape. La protección es óptima para el control de la contaminación del catalizador, bloqueo de filtros de partículas, desgaste del motor, formación de depósitos en pistones, estabilidad a baja y alta temperatura, propiedades dispersantes del hollín, espesamiento debido a la oxidación, formación de espuma y pérdida de viscosidad debido al cizallamiento. Los aceites API CJ-4 superan los niveles de prestaciones API CI-4 con CI-4, CH-4, CG-4 y CF-4, y pueden ser utilizados eficazmente en motores que requieran estas categorías de servicio API. Si se utiliza un aceite nivel CJ-4 con combustibles que contengan más de 15 ppm de azufre, consulte al fabricante del motor para conocer el intervalo de mantenimiento. (IAP, 2012)

### **2.11 Características físicas y químicas de los lubricantes**

Las características físicas y químicas de los lubricantes se establecen para controlar la continuidad y la calidad de los lubricantes y fijar su conveniencia para una aplicación concreta.

**2.11.1 Viscosidad.** Para casi todas las aplicaciones prácticas, esta es la característica individual más importante de un aceite. En el sentido estricto de la palabra, la viscosidad es la resistencia de un fluido al cizallamiento y se define como la fuerza que se precisa para mover una con respecto a otra, dos superficies planas separadas por una película de dicho líquido.

La viscosidad absoluta o dinámica es la fuerza que se precisa para cizallar una superficie y un espesor unidad de líquido a una velocidad uniforme, y se expresa en poises o centipoises (1/100 poises). Si una superficie plana de un centímetro cuadrado está separada por una película de aceite de un centímetro de espesor, de otra superficie, también plana, y se mueve con respecto a esta a una velocidad de un centímetro por segundo, la viscosidad del fluido en poises es igual a la fuerza en dinas necesaria para vencer la resistencia de la película del fluido.

Para que se produzca el desplazamiento de una capa del lubricante con respecto a otra, es necesario aplicar una fuerza tangencial  $F$ . Newton puso de manifiesto que esta fuerza constituía una medida del frotamiento interno del fluido o de su resistencia al cizallamiento y era proporcional a la superficie  $A$  y al gradiente de velocidad  $dv/dh$  expresado de la siguiente forma:

$$\frac{F}{A} \propto \frac{dv}{dh} \quad (1)$$

La constante de proporcionalidad  $\alpha$  es la viscosidad del fluido que se expresa como viscosidad absoluta  $\eta$  porque, dependiendo del valor de la viscosidad, el esfuerzo cortante será mayor o menor.

Por tanto:

$$\frac{F}{A} = \eta \frac{dv}{dh} \quad (2)$$

O sea,

$$F = \eta A \frac{dv}{dh} \quad (3)$$

La viscosidad absoluta  $\eta$  representa la viscosidad real de un líquido y se mide por el tiempo que demora en fluir, a una temperatura dada, por una serie de tubos capilares estrechos.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 088
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

Los parámetros  $dv$  y  $dh$  se presentan cuando se considera un diferencial del espesor de la película lubricante.

De (c) se tiene:

$$F_{dh} = \eta A dv \quad (4)$$

**2.11.1.1 Viscosidad Cinemática.** La mayoría de las veces la viscosidad de un aceite lubricante se expresa en términos de la viscosidad cinemática o de movimiento del fluido, que es igual a la viscosidad absoluta del fluido, dividida por su densidad, expresada cada una en el sistema de unidades y a la misma temperatura. La unidad de viscosidad cinemática es el Stokes. Generalmente se expresa:

$$\text{Centistoke} = \left(1 \frac{\text{mm}^2}{\text{seg}}\right)$$

$$\text{Viscosidad Cinemática (V)} = \frac{\text{Viscosidad Absoluta}}{\text{Densidad}} \quad (5)$$

La viscosidad de un aceite se puede dar en alguna de las siguientes unidades, a una temperatura de referencia específica.

- Segundos saybolt universal (S.S.U.).
- Segundos saybolt Furol (S.S.F.) para aceites de mayor viscosidad.
- Centistoke (cst).
- Segundos Redwood No. 1 (S.R. No 1) Universal.
- Segundos Redwood No 2 (S.R. No 2) Admiralty.
- Grados Engler. ( $^{\circ}E$ ).

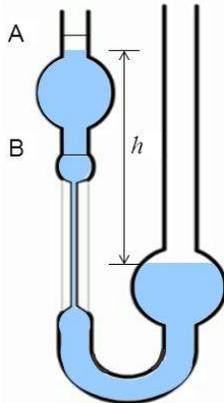
**2.11.2 Viscosímetros Comerciales.** Los viscosímetros comerciales normalizados consisten esencialmente en un recipiente provisto de un orificio en el fondo. La viscosidad se mide determinando el tiempo que una cantidad normalizada de aceite, mantenida a una temperatura también normalizada, invierte en escapar a través del orificio. Este tipo de instrumentos tiene dos desventajas. La primera, es que en el caso de dos fluidos de la misma viscosidad absoluta, pero de diferente densidad, el más pesado se vaciara antes, dándonos una viscosidad más baja. (Hobson, 2002)

La viscosidad así determinada se conoce como viscosidad comercial y no está relacionada con la viscosidad absoluta, sino con la cinemática, que es el resultado de dividir la absoluta por la densidad.

La unidad científica de viscosidad cinemática es el Stokes (o centistoke), que es igual a la viscosidad absoluta dividida por la densidad.

El segundo inconveniente de orden práctico de este tipo de viscosímetros es que, a viscosidades bajas, el frotamiento entre el fluido y los bordes del orificio equivale a una proporción cada vez mayor de la resistencia total que se presenta al deslizamiento, con lo que para cada instrumento, existe un tiempo mínimo de aplicación. Por consiguiente, por debajo de una cierta viscosidad absoluta, todos los líquidos nos dan prácticamente el mismo resultado, sea cual fuere su viscosidad real. (Hobson, 2002)

### Medida de la viscosidad: Viscosímetro de Ostwald



Medida de la viscosidad de un líquido conocida la de otro

- **tiempo** que tarda en fluir un líquido por el capilar
- **volumen** de líquido que **fluye** por el capilar fijo: entre A y B
- **régimen estacionario** en el capilar
- **gradiente de presiones inicial**  $P_1 - P_2 = \rho g h$   
depende de la **densidad** del líquido !!! Va variando con  $h$
- Ley de Poiseuille aplicable

$$\frac{V}{t} = \frac{\pi r^4}{8\eta} \frac{P_1 - P_2}{y_1 - y_2} = \frac{\pi r^4}{8\eta} \frac{\rho g h}{h} \rightarrow t = \frac{8V}{\pi r^4 g} \frac{\eta}{\rho} \propto \frac{\eta}{\rho}$$

$$\frac{\eta_b}{\eta_a} = \frac{t_b \rho_b}{t_a \rho_a}$$

Medida de la viscosidad de  $b$  conocida la de  $a$  y las densidades de ambos

**Figura 74.** Imagen de viscosímetro comercial. (Donaldson, 2015)

**2.11.3 Clasificación de los aceites según su viscosidad.** Por esta razón los aceites se ordenan frecuentemente en grupos de viscosidad análoga, y los incluidos en uno de estos grupos son prácticamente intercambiables con los demás que lo integran en lo que se refiere a la viscosidad y, por tanto, a la capacidad de soporte de la carga.

Una agrupación de este tipo, que se emplea para muchas finalidades ajenas al campo del automóvil, es la elaborada por la SAE y que constituye la base que establece una relación entre los números SAE y el valor en SSU para los aceites parafínicos normales.

**Tabla 4.** Grados de viscosidad a bajas y altas temperaturas.

Grado de viscosidad SAE	Viscosidad a baja temperatura (°C) , cP		Viscosidad en alta temperatura (°C)		
	Max. Arranque	Max de bombeo (Sin esfuerzo)	Cinemática (cSt) a 100°C min.	Cinemática (cSt) a 100°C max.	Alta tasa de Corte (cP) a 150 °C D4683, D4741, D5481
0W	6 200 a -35	60 000 a -40	3,8	-	-
5W	6 600 a -30	60 000 a -35	3,8	-	-
10W	7 000 a -25	60 000 a -30	4,1	-	-
15W	7 000 a -20	60 000 a -25	5,6	-	-
20W	9 500 a -15	60 000 a -20	5,6	-	-
25W	13 000 a -10	60 000 a -15	9,3	-	-
20			5,6	< 9,3	2,6
30			9,3	< 12,5	2,9
40			12,5	< 16,3	3,5 (0W-40 5W-40, 10W-40)
40			15,5	< 16,3	3,7 (15W-40 20W-40, 25W-40, 40)
50			16,3	< 21,9	3,7
60			21,9	< 26,1	3,7

Fuente: (www.maquinariaspesadas.org, 2015)

De hecho, se supone que los aceites naftenicos son un número SAE más pesado que los parafínicos a 37,7 °C, aunque ambos tienen la misma viscosidad a 100°C.

Esto quiere decir que para operaciones tales como la lubricación de máquinas herramientas, en las que las temperaturas de funcionamiento del aceite se aproximan más a la primera que a la segunda de dichas temperaturas, en caso de que se

especifique el empleo de un aceite parafinicos SAE 30, este puede sustituirse por otro de tipo naftenicos SAE 20, siempre que este sea aceptable sobre la base de otras consideraciones ajenas a la viscosidad para la temperatura de operación que se trata. (Hobson, 2002)

**2.11.4 Índice de Viscosidad Método ASTM D 567.** A medida que un aceite se calienta, su viscosidad disminuye. Esto es cierto para todos los aceites, pero el cambio es mayor en unos que en otros.

El índice de viscosidad VI constituye la medida de la velocidad del cambio de la viscosidad, basada, de un modo bastante arbitrario, en el comportamiento de un aceite parafinicos específico de pequeña velocidad de cambio al que se le asignó un VI de 100 y de otro asfáltico que registra una mayor velocidad de cambio al que se le dio un VI de cero. Aunque existen aceites de un VI mayor que 100 y menor que 0, la mayoría están comprendidos entre estos dos valores. El índice de viscosidad es de carácter más significativo en el caso de los aceites viscosos que en el de los ligeros, ya que la diferencia en la viscosidad a 100<sup>0</sup>C de por ejemplo dos aceites de numero SAE 10 y que tienen la misma viscosidad a 37<sup>0</sup>C es relativamente insignificante aun para grandes diferencias en el índice de viscosidad; pero el cambio de la viscosidad en función del registrado por la temperatura aumenta progresivamente cuanto mayor es dicha viscosidad a la temperatura normalizada. (Albarracin, 2000). En la mayor parte de las aplicaciones de la lubricación el índice de viscosidad no es especialmente importante.

**2.11.5 Peso Específico Método ASTM D-287.** El peso específico es la relación del peso de un volumen de lubricante al de idéntico volumen de agua a una temperatura normalizada. Por regla, general 60<sup>0</sup>F (15,5<sup>0</sup>C). El peso del aceite se puede determinar también a esta temperatura y, en este caso, la relación se conoce con el nombre de peso específico 60/60<sup>0</sup>F. (Albarracin, 2000)

El peso específico se expresa también muchas veces en grados API. Para pasar de grados API a peso específico 60/60<sup>0</sup>F y viceversa se puede emplear la siguiente expresión:

$$API^0 = \frac{141,5}{p.e \ 60/60^0F} - 131,5 \quad (6)$$

Cuando el peso específico se expresa a cualquier otra temperatura que no sea la de 60<sup>0</sup>F puede corregirse como a continuación se indica (Albarracin, 2000):

1. Se determina la diferencia, en <sup>0</sup>F, entre la temperatura a la que se midió el peso específico y 60<sup>0</sup>F.
2. Multiplicar esta diferencia por el coeficiente de dilatación del líquido. Para la mayor parte de los aceites lubricantes, este es del orden de 0,0004.
3. Si la temperatura a la que se calculó el peso específico es mayor que 60<sup>0</sup>F, se añade el resultado de 2 al peso específico obtenido; si es menor se resta.

El peso específico no tiene ninguna relación con la viscosidad o con la aptitud lubricante de un aceite. Las expresiones (pesado) y (ligero) que se aplican a los aceites lubricantes sirven para designar su viscosidad y no su peso específico. Hasta hace unos cuantos años el peso específico constituía una orientación sobre la naturaleza del crudo petrolífero del que el lubricante se derivaba, pero los métodos de refinado modernos pueden producir un aceite de elevado peso específico a partir de un crudo que lo tiene bajo ( y viceversa) y, por consiguiente, esta indicación ya no tiene ningún valor. Su principal aplicación práctica es la conversión entre las medidas ponderables y volumétricas del lubricante.

**2.11.6 Color o Fluorescencia Método ASTM D-1500.** Es un indicativo del aceite nuevo, pero no tiene nada que ver con su calidad. Es característico de cada fabricante, por lo que este solo sirve para comparar el aceite en servicio con respecto al aceite nuevo. (Albarracin, 2000)

**2.11.7 Rigidez Dieléctrica Método ASTM D-877 y ASTM D-1816.** Es la capacidad de aislamiento eléctrico de los aceites y se determina por la tensión en que se produce un arco eléctrico permanente entre dos electrodos sumergidos en el aceite. (Albarracin, 2000)

**2.11.8 Punto de Congelación y de Enturbiamiento Método ASTM D-97.** El punto de congelación corresponde a la temperatura más baja a la que el aceite puede fluir.

El punto de enturbiamiento de un aceite sometido a un proceso de enfriamiento, es la temperatura a la que las parafinas u otras sustancias en solución comienzan a separarse en forma de cristales. (Albarracin, 2000)

**2.11.9 Punto de Inflamación Método ASTM D-92 y ASTM D-93.** Es la temperatura mínima a la cual los gases formados se inflaman por un instante al aproximarles una chispa o llama.

Los aceites con puntos de inflamación por debajo de 150<sup>0</sup>C no se deben emplear en lubricación. El punto de inflamación de los aceites nuevos es mayor en los de alta viscosidad y los de base naftenica se caracterizan por tener puntos de inflamación más bajos que los de base parafinica de viscosidad similar. (Albarracin, 2000)

**2.11.10 Punto de Combustión Método ASTM D-92 y ASTM D-93.** Es la temperatura a la cual se forman gases suficientes para mantener una llama durante 5 segundos como mínimo.

El punto de combustión suele ser entre 30<sup>0</sup> y 60<sup>0</sup>C superior al de inflamación. Los puntos de inflamación y de combustión no deben confundirse con el de auto inflamación (o de auto ignición), que es la temperatura a la cual el aceite se inflama y se quema sin necesidad de aplicarle una llama o chispa. (Albarracin, 2000)

**2.11.11 Emulsificación Método ASTM D-157.** En la mayor parte de las aplicaciones es deseable que un aceite se separe fácilmente del agua. Los ensayos de Emulsificación o dicho con más propiedad de desesulfación, miden el tiempo que tarda en separarse del agua un aceite que se ha mezclado con esta. Un aceite mineral emulsificado tiene un aspecto terroso y opaco, pero será claro y translucido cuando se caliente a 100°C (Albarracín, 2000)

Este ensayo no es fácil de aplicar a los aceites naturalmente oscuros, aunque un experto puede notar los cambios. En algunos casos en los que la Emulsificación es una propiedad deseable, el aceite se agita con agua con la finalidad opuesta; cuanto más reducida y más lenta sea la separación, tanto mejor.

**2.11.12 Evaporación o Destilación Método ASTM D-972.** Este ensayo mide las temperaturas a las que las fracciones más ligeras del aceite se eliminan mediante aplicación de calor. Por regla general, un aceite de punto de inflamación bajo tendrá una elevada velocidad de evaporación.

Un lubricante en el que el porcentaje que se separa por destilación a una temperatura relativamente baja es elevado, y que disminuye rápidamente a medida que dicha temperatura se aumenta, es un aceite pesado, diluido para lograr una viscosidad más baja, y por regla general, no debe emplearse y debe sustituirse por un producto homogéneo. (Hobson, 2002)

**2.11.13 Residuos de Carbón Método ASTM D-189 y ASTM D- 524.** Es la cantidad de carbón en porcentaje por eso, que queda después de que una muestra de aceite es sometida a un proceso de evaporación y pirólisis. Esta característica determina la tendencia que tienen los aceites lubricantes de formar partículas de carbón cuando están sometidos a elevadas temperaturas de funcionamiento. (Albarracín, 2000)

#### **2.11.14 Contenido de Cenizas Sulfatadas Método ASTM D-482 y ASTM D-874.**

Está relacionado con la cantidad de materiales no combustibles que pueden estar presentes en el aceite, como polvo, algunos aditivos y partículas metálicas provenientes del desgaste de superficies lubricadas.

En los aceites nuevos indica el contenido de aditivos órgano-metálicos y en los usados el nivel de deterioro de los aditivos o la contaminación del aceite con partículas no combustibles. Los aceites minerales puros no contienen materiales que forman cenizas.

El contenido de cenizas sulfatadas de un aceite es la relación entre el peso de los residuos que quedan de una muestra del aceite cuando se quema, y se trata con ácido sulfúrico, y el peso inicial de la muestra.

Los aceites que contienen una gran cantidad de cenizas pueden contribuir a depósitos más pesados, al ensuciamiento de inyectores, a la canalización de las válvulas y a mayores cantidades de depósitos de carbón pesado en las cabezas de los pistones. (Albarracin, 2000)

#### **2.11.15 Número de Neutralización o TAN Método ASTM D-664 Y ASTM D-974.**

El número de neutralización (NN) o TAN (numero acido total) de un aceite nuevo o usado es la cantidad en miligramos de una base estándar (KOH), que es necesario añadirle a un gramo del aceite para neutralizarle los ácidos que tenga. En los procesos de tratamiento con ácido de la base lubricante es esencial que todo el ácido sulfúrico se neutralice y se lave para que el aceite nuevo presente un bajo TAN. (Albarracin, 2000)

**2.11.16 Número Básico Total (TBN) Método ASTM D-664 Y ASTM D-2896.** Es la calidad del aceite nuevo y especifica la cantidad en miligramos de un ácido (HCL) que es necesario añadirle a cada gramo de aceite nuevo para que neutralice las sustancias básicas que posee. Esta característica se refiere más a la detergencia de los aceites automotores que a los de tipo industrial, debido a que los aditivos detergentes, dispersantes aumentan la reserva alcalina del aceite.

**2.11.17 Punto de Anilina Método ASTM D-611.** Indica el contenido de hidrocarburos saturados (no reactivos en el aceite lubricante) y permite determinar la composición de la base (parafinica, naftenica o aromática) y su tendencia a deformar los sellos de caucho de las máquinas que lubrica el aceite.

**2.11.18 Corrosión al Cobre Método ASTM D-130.** La mayor parte de los aceites nuevos son absolutamente inofensivos frente a los metales, que constituyen los mecanismos a lubricar. No obstante, es de interés determinar la tendencia que presenta un lubricante para provocar corrosión en los metales blancos, tales como el babbit, cobre, bronce, entre otros. La corrosividad del aceite aumenta si hay presencia de agua porque esta puede lavar parte de los aditivos anticorrosivos del aceite. Este proceso es más acelerado si el aceite está parcialmente oxidado, porque se forman ácidos orgánicos.**3.2.19 Herrumbre Método ASTM D-665.** (Albarracin, 2000)

La herrumbre se debe a una reacción química que ocurre entre un material ferroso, como el hierro o el acero, y el oxígeno en presencia de agua. Puede presentar un color rojo, café, verde o negro. Otros metales, como el aluminio y el cobre, son atacados por la herrumbre en menor grado, debido a que la capa inicial de oxígeno que se forma ayuda a retardar dicho proceso. Los aceites cuentan con inhibidores de la herrumbre que protegen las superficies metálicas mientras estén bien lubricadas. (Albarracin, 2000)

**2.11.19 Aero emulsión o Atrapamiento de Aire Método DIN 5381.** La Aero emulsión es una emulsión aire-aceite formada por burbujas diminutas de aire, de tamaño bastante inferior a los de espuma superficial, dispersas en la masa de aceite.

**2.11.20 Formación de Espuma Método ASTM D-892.** Un aceite produce espuma superficial por agitación enérgica con el aire o con otro gas, y está constituida por el agrupamiento de un elevado número de burbujas de distintos tamaños, la presencia de ciertos compuestos polares en el aceite, la disminución de la presión exterior y el aumento de la viscosidad de la fase líquida favorecen la estabilidad y rigidez de la espuma; sin embargo, esta se debilita cuando la temperatura se incrementa. Excesiva cantidad de espuma en el aceite puede causar desgaste en las superficies metálicas lubricadas debido a la poca homogeneidad de la película lubricante. (Albarracín, 2000)

**2.11.21 Tensión Interfacial Método ASTM D-971.** Es el grado de resistencia que ofrecen dos líquidos que no son miscibles a su separación cuando se ponen en contacto. La tensión Interfacial se utiliza como indicativo de la presencia o ausencia de compuestos polares en muy bajas concentraciones, como es el caso de ciertos contaminantes, aditivos o productos de la degradación del propio aceite.

## 2.11 Tipos de lubricación

El método más antiguo y sencillo de alimentación de lubricante a un cojinete consistía en dejar caer aceite a su alrededor y confiar en que algo de este iría a parar al lugar adecuado. El próximo paso consistió en perforar un canal que llevase el aceite hasta el centro del cojinete. Este último método todavía se emplea en el caso de los cojinetes sometidos a cargas ligeras, aunque un cojinete así lubricado suele estar alimentado con una cantidad insuficiente o excesiva de aceite, siendo el primer caso el más corriente.

El siguiente paso consistió en ajustar una copa de engrase provista de tapa al extremo del canal, con objeto de tener siempre una pequeña reserva de aceite y de excluir la suciedad y cualquier otra materia extraña. Con este dispositivo el cojinete tiende a estar lubricado por exceso más que por defecto, durante la mayor parte de su vida y se mantiene más limpio que cuando el canal de aceite permanece sin cubrir. (Albarracín, 2000)

**2.12.1 Engrasadores Mecánicos de bomba común.** El tipo de engrasador mecánico de bomba común y con aparatos contadores individuales en las condiciones que van a cada cojinete, se emplea cada vez más, ya que sirve tanto para grasas como para aceites y suele ser más barato que el de varias bombas. (Hobson, 2002)

De todos modos, no es adecuado para instalaciones del tipo de lubricación de cilindros de motores de vapor y fuel, donde es necesario alimentar cantidades de lubricante medidas con gran precisión, debido al hecho de que el ajuste del flujo que se dirige a un punto determinado afecta a los flujos que se van a los demás.

Un engrasador de este tipo emplea un distribuidor giratorio que determina que la descarga de la bomba se oriente consecutivamente a los distintos puntos que necesitan lubricarse y que recibe una cantidad de aceite aproximadamente igual regulando la cantidad empleada por la bomba principal.

Otro tipo emplea conducciones de un diámetro bastante grande provistas de orificios contadores de diversos tamaños en los canales de toma que se dirigen a cada uno de los cojinetes. La resistencia de estos orificios es tan elevada en proporción a la ofrecida por las conducciones empleadas en el sistema, que regula casi completamente el volumen de aceite que fluye por cada una de estas. (Hobson, 2002)

Este sistema es de construcción robusta y da un resultado bastante bueno a pesar del inconveniente de que, en ocasiones y sin que el operario se dé cuenta, los orificios contadores, a los que generalmente se encuentra incorporado un elemento filtrante y una válvula de retención, se atasquen con lodo o con suciedad.

Para reducir el costo de la instalación los engrasadores de bomba común no suelen ir provistos de indicadores de alimentación visibles, y por la misma razón, y a menos que estén incorporadas al dispositivo contador, se prescinden las válvulas de retención.

Tanto los engrasadores mecánicos de bomba común, como los de varias bombas, suelen utilizar una transmisión giratoria. Esta transmisión puede realizarse mediante correas, engranajes, directamente desde el árbol o bien mediante un mecanismo de trinquete acoplado a una biela o palanca; algunos engrasadores emplean una transmisión alternativa directa.

Si hay que sincronizar el funcionamiento del engrasador con el de la máquina que se lubrica, como es el caso de la lubricación de los cilindros de un motor de combustión interna, la transmisión debe proyectarse con sumo cuidado. (Hobson, 2002)

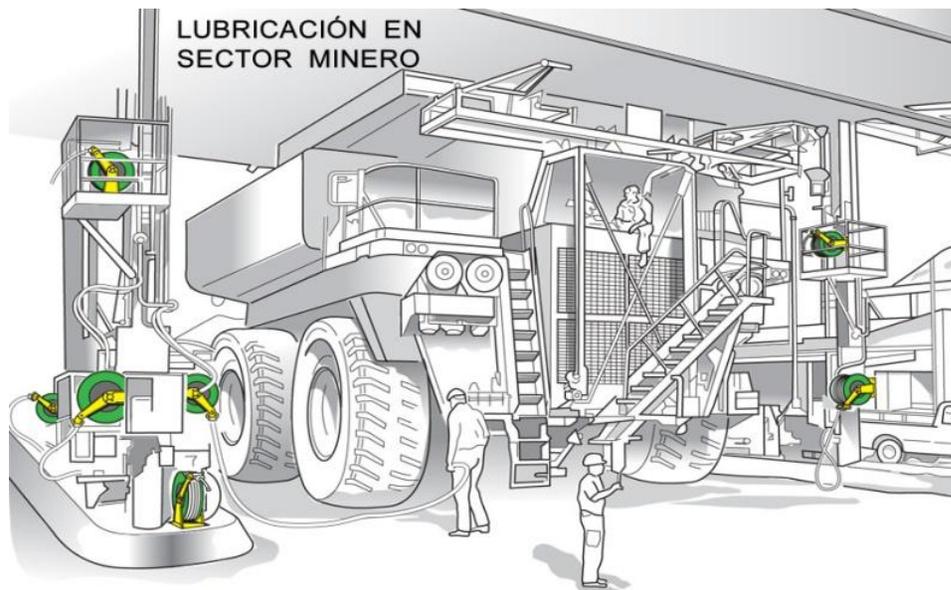
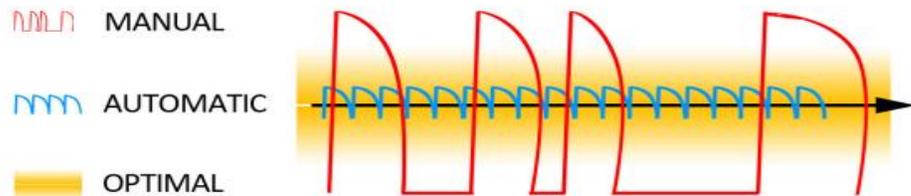
En la mayor parte de los casos ello se logra mediante una transmisión por cadenas o por correas trapezoidales que permite alcanzar la velocidad del eje de transmisión recomendada por el fabricante del engrasador, según el tipo de lubricante y su función.

**2.12.2 Sistema de Lubricación Centralizada.** El principio de funcionamiento consiste en utilizar una bomba para repartir grasa o aceite desde un depósito central hacia los puntos de lubricación de forma completamente automática. Este sistema aporta perfectamente las cantidades de grasa o aceite especificadas por los fabricantes de maquinaria. Todos los puntos de lubricación alcanzados reciben el suministro óptimo de lubricante, reduciendo el desgaste. Como consecuencia se incrementa considerablemente la vida de servicio de los elementos de la máquina y a su vez se reduce el consumo de lubricante. (Hobson, 2002)

Ventajas:

1. Mayor disponibilidad de la máquina.
2. Reducción drástica de costos por mantenimiento y reparaciones.
3. Reducción de costosos tiempos muertos de la máquina y de personal.
4. Ahorro de lubricante de hasta un 40%.
5. Protección del medio ambiente.
6. Reduce las horas de mano de obra para el mantenimiento preventivo.
7. Amplía los intervalos de mantenimiento preventivo.
8. Reduce las averías de los componentes.

9. Reduce las averías en carretera.
10. Aumenta el uso del camión.
11. Amplía la vida útil del camión.
12. Mejora la fiabilidad y la seguridad de la flota.



**Figura 75.** Comparación en la aplicación de lubricantes. (Caterpillar, 2005)

**2.12.3 Sistema de Lubricación por Salpicadura o Barboteo.** Sistema simple de lubricación, también denominado por barboteo, empleado en un principio para los motores automovilísticos; se utilizó para todos los mecanismos que, pudiendo ser encerrados en una caja, contenían partes que debían lubricarse, como engranajes y Cojinetes de bolas, y que podían ser alcanzadas por simple proyección del aceite. Salvo raras excepciones, debidas a la necesidad de tener que refrigerar el líquido con un radiador exterior, este tipo de lubricación es típico de los cambios y de los diferenciales (Ver Figura 76). (Cuesta, 2003)



**Figura 76.** Lubricación por salpicadura. (Caterpillar, 2005)

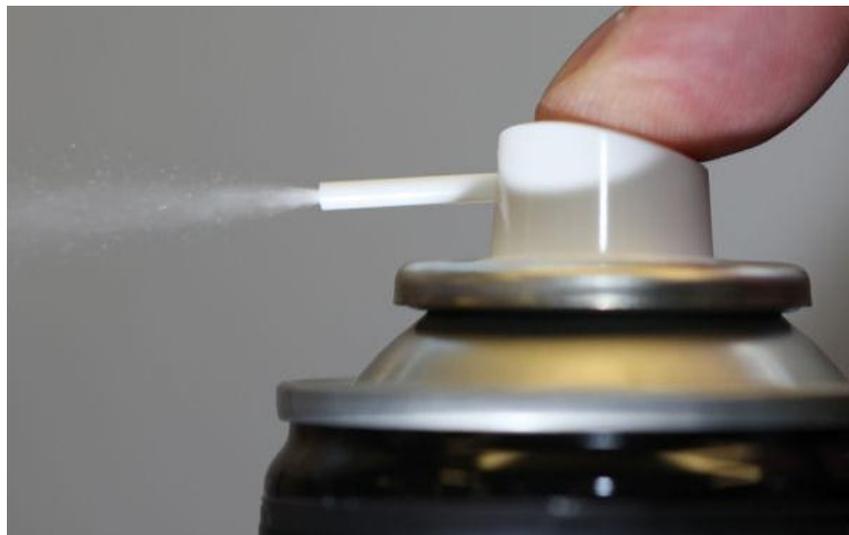
En los motores, la lubricación por salpicadura se efectuaba proyectando el aceite contenido en el cárter del motor hacia los cilindros y los acoplamientos biela-pistón; el lubricante era levantado por la inmersión parcial de la cabeza de la biela o por unas cucharillas apropiadas unidas al cigüeñal.

La lubricación por salpicadura quedaba limitada por la cantidad reducida de lubricante que se difundía, con la consiguiente menor refrigeración de las piezas, y por la imposibilidad de distribuir el aceite proporcionalmente a las necesidades de lubricación

en la compleja estructura de los motores de 4 tiempos. Así, respecto a la distribución, era indispensable la colocación del árbol de levas en el bloque, con válvulas laterales dada la imposibilidad de lubricar los mecanismos (válvulas, balancines, entre otros.) situados en la culata.

Este sistema fue abandonado en el sector automovilístico para dar paso a la más compleja pero más eficaz lubricación por circulación forzada; sin embargo, se mantuvo para algunos motores mono cilíndricos pequeños para uso industrial.

**2.12.4 Sistema de Lubricación por Aerosoles.** Un sistema de lubricación por cantidades mínimas tiene como función suministrar cantidades minúsculas de lubricante al punto activo entre la herramienta y la pieza de trabajo en operaciones con o sin corte (Ver Figura 77). La lubricación se lleva a cabo por medio de un aerosol compuesto por pequeñas gotas de aceite finamente dispersas en una corriente de aire. La herramienta o pieza de trabajo puede recibir la lubricación por cantidades mínimas (MQL).



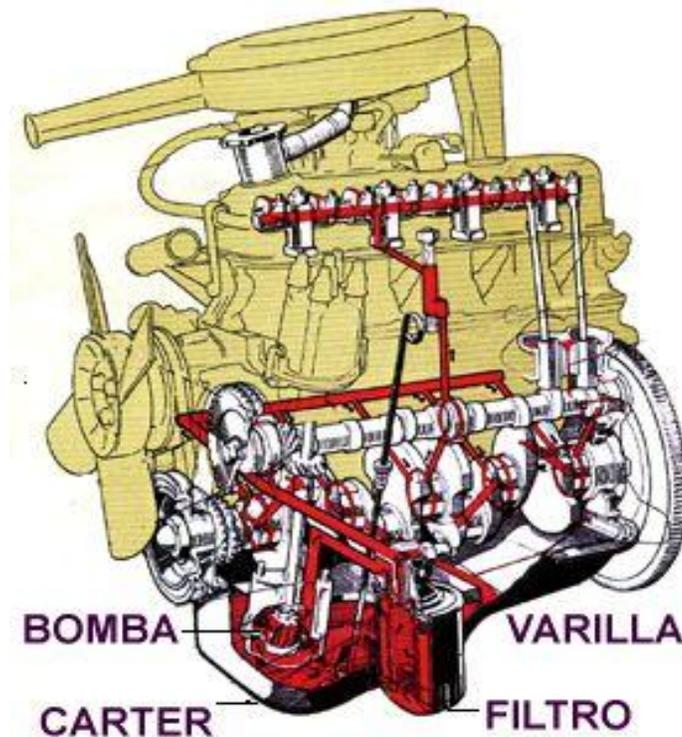
**Figura 77.** Lubricante en aerosol. (Inautonews, 2015)

**2.12.5 Sistema de lubricación por circulación cerrada o presión.** Con lubricación por circulación se hace referencia a un circuito de lubricante.

Este tipo de lubricación se trata de una aplicación continua de lubricante y de un flujo y reflujos constante del mismo.

El lubricante se encuentra en un recipiente (depósito, bandeja de aceite).

La lubricación por circulación transporta al punto de lubricación la dosis necesaria y perfecta de lubricante y, al mismo tiempo, puede ocuparse de la refrigeración (Ver Figura 78). Este tipo de lubricación incluye fundamentalmente un circuito cerrado de lubricante. Se compone del depósito, la aplicación sobre el punto de fricción y la recirculación. También pueden interconectarse un regenerador de lubricante, un filtro de aceite y, en caso necesario, un grupo frigorífico.



**Figura 78.** Circuito de lubricación a presión. (May, 1998)

Ventajas de la lubricación por circulación:

- Montaje sencillo.
- Pocos elementos constructivos.
- Costos reducidos.
- Circuito principalmente cerrado.
- Poca pérdida de lubricante.
- Buena refrigeración del punto de lubricación.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 088
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

### **2.13 Planes de mantenimiento general programados por los fabricantes para los camiones mineros**

El mantenimiento en los camiones mineros debe ser ejecutado mediante el seguimiento de una guía o lista de instrucciones que se definen paso por paso, para verificar el estado y funcionamiento de los diferentes componentes de la máquina.

En este plan de mantenimiento recomendado por fabricantes, tomaremos como referencia las guías de mantenimiento de las marcas Caterpillar y volvo que son las marcas de los camiones mineros a estudiar en este proyecto.

Debemos guiarnos por el horometro de servicio para determinar los intervalos de servicio. Pueden usarse los intervalos de calendario que se indican (diariamente, cada semana, cada mes, entre otros) en lugar de los intervalos del horometro si estos proporcionan un programa más cómodo y se aproximan a las lecturas del horometro. El servicio recomendado se debe hacer siempre en el intervalo que ocurra primero.

En condiciones extremadas de polvo o de lluvia, puede ser necesario lubricar con mayor frecuencia, que la especificada por la guía de mantenimiento.

Se debe hacer el mantenimiento en múltiplos del requisito original. Por ejemplo, cada 500 horas de servicio o cada tres meses haga también el servicio que se indica en cada 250 horas de servicio o cada mes y en cada 10 horas de servicio o diariamente. (Finning, 2006)

Un Máquina es una Unidad Construcción que nos permite realizar operaciones de carga y descarga en lugares muy reducidos, que tiene un valor de adquisición a veces hasta Díez veces el valor de un automóvil y si por cada hora parado produce grandes pérdidas en el programa de producción. El mejor mantenimiento preventivo o correctivo no es eficiente cuando los maquinas no están siendo manejada y utilizadas adecuadamente.

El mantenimiento no es una función “miscelánea”, produce un bien real, que puede resumirse en: capacidad de producir con calidad, seguridad y rentabilidad.

Para nadie es un secreto la exigencia que plantea una economía globalizada, mercados altamente competitivos y un entorno variable donde la velocidad de cambio sobrepasa en mucho nuestra capacidad de respuesta. En este panorama estamos

inmersos y vale la pena considerar algunas posibilidades que siempre han estado, pero ahora cobran mayor relevancia.

Particularmente, la imperativa necesidad de redimensionar la empresa implica para el mantenimiento, retos y oportunidades que merecen ser valorados. Debido a que el ingreso siempre provino de la venta de un producto o servicio, esta visión primaria llevó la empresa a centrar sus esfuerzos de mejora, y con ello los recursos, en la función de producción. El mantenimiento fue “un problema” que surgió al querer producir continuamente, de ahí que fue visto como un mal necesario, una función subordinada a la producción cuya finalidad era reparar desperfectos en forma rápida y barata.



**Figura 79.** Imagen de camión minero articulado NORMET 1060D. (Normet, 2014)

El diseño e implementación de cualquier sistema organizativo y su posterior información debe siempre tener presente que está al servicio de unos determinados objetivos. Cualquier sofisticación del sistema debe ser contemplada con gran prudencia en evitar, precisamente, de que se enmascaren dichos objetivos o se dificulte su consecución.

En el caso del mantenimiento su organización e información debe estar encaminada a la permanente consecución de los siguientes objetivos:

- Optimización de la disponibilidad del equipo productivo.
- Disminución de los costos de mantenimiento.
- Optimización de los recursos humanos.
- Maximización de la vida de la máquina.

**NOTA:** Este programa de intervalos de mantenimiento recomendado por el fabricante, es realizado a nivel general de la máquina, desde el motor Diésel y el tren de fuerza y debe ser realizado con base en todas las tareas de mantenimiento del intervalo anterior.

Cuando sea necesario:

- Tanque de grasa de la lubricación automática - Llenar.
- Baterías o cables de baterías - Inspeccionar/ Reemplazar.
- Filtro de aire acondicionado de la cabina - Limpiar/Reemplazar.
- Disyuntores - Rearmar.
- Elemento primario del filtro de aire del Motor - Limpiar/ Reemplazar
- Elemento secundario del filtro de aire - Reemplazar.
- Motor de arranque - Revisar/ reemplazar.
- Fusibles – Reemplazar.
- Filtro de aceite Motor - Inspeccionar/ Reemplazar.
- Núcleo del radiador – Limpiar.
- Presión de aire de las llantas – Comprobar.
- Depósito del lavaparabrisas – Llenar.
- Limpiaparabrisas - Inspeccionar y reemplazar.
- Ventanas de cabina – Limpiar.

Cada 10 horas de servicio o cada día:

- Alarma de retroceso – Probar.
- Frenos, indicadores y medidores – Probar.
- Nivel de aceite del motor – Comprobar.
- Cinturón de seguridad – Inspeccionar.
- Par de apriete de las tuercas de las ruedas – Comprobar.

Cada 50 horas de servicio:

- Cojinetes del pivote de la caja – Lubricar.
- Nivel de Refrigerante del sistema de enfriamiento – Comprobar.
- Separador de agua del sistema de combustible – Drenar.
- Agua y sedimentos del tanque de combustible – Drenar.
- Cojinetes de cilindros de levantamiento del volcá - Inspeccionar/ Lubricar.

- Nivel de aceite del sistema hidráulico – Comprobar.
- Enganche oscilante – Lubricar.
- Cojinetes de cilindros de dirección – Lubricar.
- Cojinetes de la suspensión y de los cilindros de la suspensión – Lubricar.
- Nivel de aceite de la transmisión y del convertidor de par – Comprobar.
- Nivel de aceite de engranajes de transferencia – Comprobar.

Primeras 500 horas de servicio:

- Juego de válvulas del motor – Ajustar.
- Enganche Oscilante – Ajustar.
- Muestra del refrigerante del sistema de enfriamiento – Obtener.

Cada 250 y 500 horas de servicio:

- Correas del motor - Inspeccionar/ ajustar/ reemplazar.
- Zapatas de freno – Comprobar.
- Sistema de frenos – Probar.
- Nivel de aceite de diferencial y mandos finales – Comprobar.
- Muestra de aceite de diferencial y mando fina I – Obtener.
- Aceite y filtro de motor – Cambiar.
- Sistema de combustible – Cebar.
- Filtro Primario del sistema de combustible - Limpiar/ Inspeccionar/ reemplazar.
- Filtro secundario del sistema de combustible – Reemplazar.
- Tapa y colador del tanque de combustible – Limpiar.
- Muestra de aceite del sistema hidráulico – Obtener.
- Colador del tanque hidráulico - Limpiar/ inspeccionar/ Reemplazar.
- Filtro de aceite de la transmisión y el convertidor de par – Reemplazar.
- Muestra de aceite de la transmisión y el convertidor de par – Obtener.
- Muestra de aceite de los engranajes de transferencia – Obtener. (Caterpillar, 2015)

Cada 1000 horas de servicio:

- Filtro de aceite y rejilla del sistema hidráulico - Limpiar/ Inspeccionar/reemplazar.
- Enganche oscilante – Ajustar.
- Estructura de protección contra vuelcos (ROPS) – Inspeccionar.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 088
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

- Aceite del convertidor de par y la transmisión – Cambiar.
- Aceite de los engranajes de transferencia – Cambiar.
- Filtro de aceite de los engranajes de transferencia – Cambiar.

Cada 2000 horas de servicio:

- Respiradores de los ejes diferenciales - Limpiar/ Reemplazar.
- Aire del sistema de frenos – Purgar.
- Aceite del diferencial y los mandos finales – Cambiar.
- Juego de válvulas del motor – Comprobar.
- Rota válvulas del motor – Inspeccionar.
- Bastidor y caja de volteo – Inspeccionar. (Caterpillar, 2015)
- Respiradero del tanque hidráulico - Limpiar/Inspeccionar/ Reemplazar.
- Secador de refrigerante – Reemplazar.

Cada año:

- Acumulador del freno de servicio – Comprobar.

Cada 3000 horas de servicio:

- Prolongador de refrigerante de larga duración para sistemas de enfriamiento-  
Añadir.
- Muestra de refrigerante del sistema de enfriamiento – Obtener.
- Tapa de presión del sistema de enfriamiento - Limpiar/Reemplazar.

Cada 4000 horas de servicio:

- Aceite del sistema hidráulico – Cambiar.

Cada 5000 horas de servicio:

- Amortiguador de vibraciones del cigüeñal – Inspeccionar.
- Juntas universales del eje impulsor (cardanes) - Inspeccionar/ Reemplazar.

Cada 6000 horas de servicio:

- Refrigerante del sistema de enfriamiento – Cambiar.
- Termostato de agua del sistema de enfriamiento – Reemplazar.

Este programa de mantenimiento se realiza de acuerdo a las especificaciones del fabricante y usando aceites convencionales que no tienen adición de boratos.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 088
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

Para realizar las tareas descritas en el anterior programa de mantenimiento, debemos seguir el manual de camiones mineros articulados 730 CATERPILLAR. (Caterpillar, 2015)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 088
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

### 3. Metodología

Para empezar con el desarrollo de este proyecto se hace un estudio e investigación de las necesidades que se presentan en el mantenimiento de flotas de equipo pesado en una empresa de construcción de obras de infraestructura, analizando varios aspectos tales como: fallas de los equipos, tiempos de reparación y mantenimiento, personal requerido para las tareas de mantenimiento y costos de insumos.

Teniendo en cuenta todo lo anterior se procede a visitar obras de construcción y talleres de reparación de la empresa Estyma S.A para conocer los sistemas y componentes del camión minero Subterráneo NORMET 1060D verificando los tipos de mantenimiento y secuencias de mantenimiento aplicadas a estos equipos. Basados en esta información se evalúan las propiedades del lubricante utilizado en la actualidad y se propone la utilización de un nuevo lubricante que contiene partículas de boratos; que mejora la lubricación de los componentes mecánicos y por lo tanto extiende la vida útil del aceite y de los mecanismos internos del motor y las diferenciales de potencia.

Luego se analiza dicha información y se efectúa un estudio e investigación de datos técnicos, especificaciones, mantenimiento y operación de los diferentes sistemas que componen los camiones mineros subterráneos para poder visualizar cuales son las posibles fallas y soluciones que se pueden implementar para mejorar las condiciones de operación de dichos equipos. Toda esta información es recopilada de manuales de servicio y reparación de Las marcas Caterpillar, Volvo equipment, y Normet, páginas de internet, archivos e historiales de mantenimiento y experiencias personales en labores de reparación y mantenimiento de la empresa Estyma S.A.

En el desarrollo de esta investigación será necesario conocer y definir varios conceptos sobre tipos de camiones mineros para construcción y minería además de identificar cuáles son los tipos de mantenimiento aplicados a estos, y claros conceptos de tribología y lubricación Industrial y automotriz para poder así realizar y diseñar un programa de mantenimiento adecuado para estos equipos.

También son de vital importancia las asesorías y recomendaciones de personas que trabajan en las áreas técnicas, de ingeniería y de catedra académica, ya que mucha información debe ser analizada con estas personas para poder comprender conceptos y esclarecer dudas que se generan durante el desarrollo de esta investigación. Aunque al principio se plantea trabajar con los datos obtenidos según aunque al principio se plantea trabajar con los datos obtenidos según los análisis y tomas de muestras de los aceites empleados en motores y diferenciales, pudimos evidenciar problemas de cumplimiento de programación para toma de muestras de aceite, paradas de los equipos constantemente y vida útil del aceite muy extendida en tiempo, que no nos permitiría llevar una recolección de datos en corto tiempo para cumplir con el calendario de la institución en cuanto presentación de proyectos.

Además, se evidencio que no se cumplían con las especificaciones técnicas apropiadas para la toma de muestras de aceite, debido a la contaminación en los puntos y tapones de muestras de los diferenciales, ya que en los resultados se mostraban altos contenidos de sílice por valor de (30 a 35 ppm) y solo se puede aceptar rangos de (0 a 20 ppm). Entonces se procederá a realizar un análisis financiero y de costos basados en información y archivos de los mantenimientos ejecutados con la utilización del anterior aceite y compararlos con la aplicación del nuevo aceite a base de boratos; todos estos datos darán un resultado aproximado de costos en insumos, horas de producción de los equipos y número de intervenciones para mantenimiento.

Después de analizados todos estos requerimientos se realizó el análisis de resultados y las conclusiones del proyecto, basados en la tabulación de datos y en los resultados gráficos.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 088
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

#### 4. Resultados y discusión

##### 4.1 Diseño de plan tribológico para camiones mineros subterráneos.

En este segmento del trabajo de investigación se realiza el diseño del plan tribológico y de mantenimiento para camiones mineros subterráneos basados en la información recopilada de los archivos de mantenimiento según Arboleda (2015) de la empresa Estyma S.A y basándonos en las especificaciones técnicas descritas en manuales de servicio, mantenimiento y reparación de maquinaria pesada, de las marcas Caterpillar, volvo, John Deere y Normet.

Además de esta información, se ha contado con la asesoría y experiencia de los señores Juan David Amarilles y Juan Carlos Arboleda, quienes trabajan en las áreas de gestión del mantenimiento en EPM y la Empresa Estyma S.A respectivamente.

Al principio de este proyecto se planteó realizar esta tesis basada en información adquirida mediante la toma de muestras de aceite para verificar el comportamiento del aceite actual y el nuevo a utilizar a base de boratos, pero encontramos varios obstáculos en el transcurso del mismo y que a continuación describiremos.

#### 4.1.1 Prueba piloto

**4.1.1.1 Toma de muestras de Aceite.** Las muestras de aceite usados para ser analizadas en el laboratorio se deben tomar recién detenido el mecanismo con el fin de que todas las impurezas (materiales solubles y no solubles) se hallen en suspensión en el aceite y los resultados que se obtengan sean lo más verídicos posibles.



**Figura 80.** Procedimiento de extracción de muestra de aceite. (Autores, 2015)

Cuando se va a realizar una extracción de aceite para análisis de laboratorio el envase utilizado para guardar la muestra de aceite debe estar completamente limpio y contar con una tapa hermética, además también debe estar limpio el punto u orificio por donde se van a extraer la muestra, ya que, si este está contaminado con polvo o tierra, la muestra de aceite dará como resultado altos contenidos de sílice y esto afectaría mucho los datos del laboratorio. Este fue un problema que se nos presentó continuamente en la toma de muestras de aceite a los diferenciales de potencia, ya que estos están ubicados en las ruedas y se contaminan más fácilmente debido a la operación por terrenos destapados y en construcción.



**Figura 81.** Tapón de diferencial. (Autores, 2015)

Como se puede apreciar en la figura 79, el tapón de la diferencial se encuentra muy cerca al terreno y por esto se contamina muy fácil con arena, polvo o arcilla en las vías de las obras donde trabajan los camiones mineros subterráneos, además se presentan problemas para el lavado de dichos camiones, ya que no se cuentan con lugares apropiados y reglamentarios para el uso de lavaderos o líneas de acueducto que puedan ser utilizadas para el lavado de dichos equipos. Por tal motivo no se estaban cumpliendo las especificaciones requeridas para ejecutar las extracciones de las muestras de aceite.

Además, se presentaron problemas con el cumplimiento de la programación para las muestras de aceite cada 300 horas, pero debido a paradas prolongadas de producción por inconvenientes de licencia ambiental en la obra (Central Hidroeléctrica de Anserma Caldas) y luego por vacaciones de los operadores de los camiones mineros, tuvimos problemas con la recopilación de datos ya que estos no serían exactos y no se podrían establecer según la programación en horas de trabajo de cada equipo.

Por los anteriores motivos que afectaron los resultados de los análisis de las tomas de muestras de aceite, se optó por realizar el diseño del plan tribológico basados en información detallada de costos y ahorros en la utilización del nuevo aceite comparado con el usado anteriormente.

**4.2 Pautas para manejo de residuos.** Para el buen desempeño de los camiones mineros y desarrollo eficiente de este proyecto de investigación en mantenimiento de estos equipos se tienen algunas recomendaciones con el manejo de residuos contaminantes y acopio de lubricantes:

#### 4.2.1 Aceite.

- El aceite se utiliza en el motor y en el equipo de trabajo bajo condiciones extremas (alta temperatura, alta presión) y se deteriora con el uso.

Utilice siempre el aceite que se corresponda con el grado y la temperatura para el uso indicados en el Manual de Utilización y Mantenimiento. Incluso si el aceite no está sucio, cambie el aceite después del intervalo especificado.

- El aceite es el equivalente a la sangre del cuerpo humano. Por lo tanto, maneje siempre con mucho cuidado el aceite para evitar que caigan en él impurezas (agua, partículas metálicas, suciedad, etc.). (Autores, 2015)

La mayoría de los problemas con la máquina son provocados por la entrada de estas impurezas.

Cuide especialmente que no caiga ninguna impureza cuando almacene o añada aceite.

- No mezcle nunca aceites de diferentes grados o tipos.
- Agregue siempre la cantidad de aceite indicada.
- Una cantidad de aceite excesiva o escasa puede producir problemas.
- Si el aceite del equipo de trabajo no está limpio, probablemente ha entrado agua o aire en el circuito. En este caso, diríjase a su distribuidor.
- Cuando cambie el aceite, cambie también los filtros al mismo tiempo.
- Recomendamos que realice un análisis periódico del aceite para comprobar el estado de la máquina. Para ello, póngase en contacto con su distribuidor.

#### 4.2.2 Grasa.

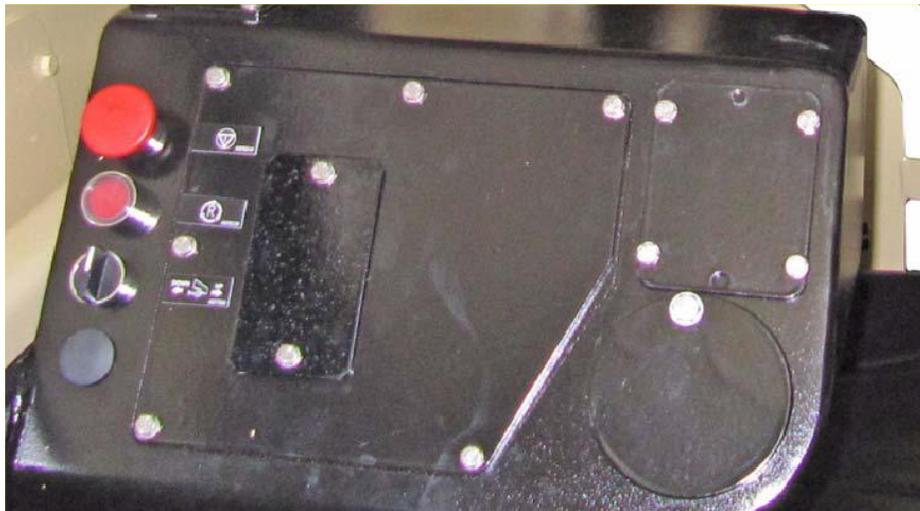
- La grasa se utiliza para evitar el torcimiento y el ruido de las articulaciones.
- Los racores de unión que no se incluyen en la sección de mantenimiento se emplean en la revisión general, no necesitan grasa.
- Si alguna pieza se agarrota o hace ruido después de haber sido utilizada durante un largo período de tiempo, engrásela.

- Limpie siempre toda la grasa vieja que salga cuando se engrase. (Autores, 2015)  
Lleve especial cuidado con la limpieza de la grasa vieja en los lugares donde se pegue arena o suciedad en la grasa, ya que esto puede producir el desgaste de las piezas que giran.

**4.2.3 Pautas de Seguridad en la ejecución del mantenimiento.** Los registros de seguridad en muchas organizaciones revelan que la mayoría de los accidentes ocurren por acciones irresponsables de las personas. El resto es consecuencia de condiciones mecánicas o físicas poco seguras. Informe de todas las condiciones de inseguridad a la autoridad pertinente.

Las siguientes reglas de seguridad son una guía para los operadores y personal de mantenimiento. Sin embargo, las condiciones y las reglamentaciones locales podrían agregar muchas otras normas a esta lista.

- Lea y observe todas las precauciones de seguridad. El no hacerlo puede causar graves lesiones o la muerte. (Caterpillar, 2005)



**Figura 82.** Interruptores de bloqueo de operación. (Normet , 2014)

1. *Parada de emergencia*
2. *Liberación de la parada de emergencia*
3. *Volcado de la cubeta del volquete*

**4.2.4 Reglas de Seguridad en el mantenimiento.**

- Sólo personal capacitado y autorizado puede operar y mantener la máquina.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 088
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

- Siga todas las reglas, precauciones e instrucciones de seguridad cuando opere y efectúe mantenimiento en la máquina.
- Cuando trabaje con otro operador o persona, en tareas de tránsito en el sitio de faenas, asegúrese que todo el personal entienda todas las señales de mano que haya que emplear.

#### **4.2.5 Elementos de Seguridad.**

- Asegúrese que todas las protecciones y cubiertas estén en su lugar y en posición apropiada. Haga reparar las protecciones y cubiertas si están dañadas.
- Aprenda el uso apropiado de los accesorios de seguridad tales como seguros, pasadores y cinturones de seguridad, y úselos en forma apropiada.
- Nunca retire ningún elemento de seguridad. Siempre manténgalos en buenas condiciones de operación.
- El uso inapropiado de los elementos de seguridad podría provocar graves lesiones o la muerte.

#### **4.2.6 Vestuario y elementos de Protección Personal.**

- Evite ropa suelta, joyas o el pelo largo y suelto. Estos se pueden enredar en los controles o partes móviles, y causar graves lesiones, o la muerte. Tampoco use ropas manchadas de aceite, ya que son inflamables.
- Use casco, anteojos de seguridad, zapatos de seguridad, máscara y guantes cuando opere o mantenga la máquina. Use siempre antiparras de seguridad, casco y guantes de protección, si su trabajo involucra dispersión de astillas metálicas o fragmentos de material - especialmente al insertar pasadores con martillo, o al limpiar el elemento del depurador de aire con aire comprimido.
- Verifique también que no haya nadie cerca de la máquina al realizar las tareas de mantenimiento programadas. (Caterpillar, 2005)

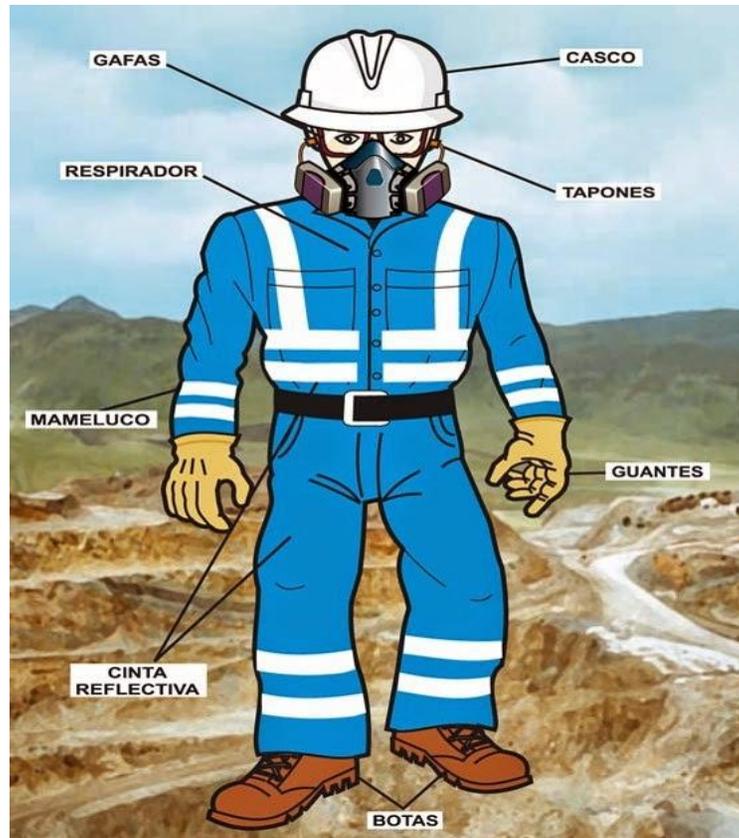


Figura 83. Dotación de elementos de protección. (www.maquinariaspesadas.org, 2015)

Algunas recomendaciones del fabricante durante el mantenimiento son: Sólo personal autorizado podrá efectuar servicio y reparar la máquina.

**4.2.7 Herramientas Apropriadas.** Sólo use herramientas adecuadas para el trabajo a realizar. El usar herramientas dañadas, de baja calidad, defectuosas o de reemplazo podría provocar lesiones personales.

**4.2.8 Detención del Motor Antes de Dar Servicio.**

- Al inspeccionar o al hacer mantenimiento, detenga la máquina en terreno firme y plano, baje la tolva, detenga el motor y Aplique el freno de estacionamiento.
- Si es preciso que el motor funcione durante el servicio, por ejemplo al limpiar el radiador, mueva siempre la palanca de cambios a posición NEUTRO (N) y aplique el freno de estacionamiento. Siempre realice este trabajo con dos personas. Una de las personas debe sentarse en el asiento del operador para detener el motor si es necesario. Nunca mueva ningún control que no esté relacionado con la tarea durante estas situaciones.

- Cuando dé servicio a la máquina, tenga cuidado de no tocar ninguna parte móvil. Nunca use ropa o joyas sueltas.
- Ponga bloques debajo de las ruedas para evitar que la máquina se mueva.
- Cuando dé servicio con la tolva arriba, siempre coloque la palanca de volteo en la posición SOSTENER y aplique el seguro (si está equipado). Instale firmemente los pasadores de seguridad de tolva arriba o el cable. (Caterpillar, 2015)

**4.2.8.1 Asegurar la Tolva de Volteo.** Siempre que al personal se le pida realizar mantenimiento al vehículo con la tolva de volteo en posición elevada, el cable de retención de tolva arriba o desplegar los bloqueos verticales del chasis hacia el volcó. Estos deben estar instalados.

**4.2.8.2 Trabajo Debajo de la Máquina.** Siempre baje todo el equipo de trabajo móvil al piso, o a su punto más bajo antes de dar servicio o efectuar reparaciones debajo de la máquina.

- Siempre bloquee muy bien los neumáticos de la máquina.
- Nunca trabaje debajo de la máquina si se encuentra mal sustentada.



Figura 84. Símbolo de peligro en trabajos bajo cajas o estructuras de volteo.  
(Caterpillar, 2015)

#### 4.2.9 Limpieza de la Máquina

- El aceite o la grasa derramada, herramientas dispersas o piezas quebradas son peligrosas ya que pueden hacer tropezar o resbalar. Mantenga siempre la máquina limpia y en orden.
- Si entra agua al sistema eléctrico, hay peligro de que la máquina se mueva inesperadamente. No use agua ni vapor para limpiar los sensores, conectores, o el interior del compartimiento del operador.
- Tenga extremo cuidado al lavar el gabinete de control eléctrico. No permita que el agua entre al gabinete de control por las puertas u orificios de ventilación. No permita que entre agua al conducto de entrada de aire de enfriado que se encuentra sobre el gabinete de control eléctrico. Si el agua entra al gabinete de control (a través de cualquier abertura o grieta) se pueden producir daños mayores a los componentes eléctricos.
- Nunca rocíe agua en las cubiertas del motor eléctrico de la rueda trasera. Se pueden producir daños a los inducidos del motor de la rueda.
- No rocíe agua en las rejillas de retardo. El exceso de agua en las rejillas de retardo puede provocar una falla de tierra, lo que impediría la propulsión. (Caterpillar, 2015)

#### 4.2.10 Cuidados al Agregar Combustible o Aceite.

- El combustible o aceite derramados pueden hacer resbalar. Siempre limpie los derrames de inmediato.
- Siempre apriete muy bien la tapa de los orificios de llenado de combustible y aceite.
- Nunca use combustible para lavar las partes. Ventilado siempre que agregue combustible y aceite, hágalo en un lugar bien



**Figura 85.** Símbolos de peligro en la manipulación de combustible. (Caterpillar, 2015)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 088
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

#### **4.2.10.1 Nivel de Agua en el Radiador.**

- Si es necesario agregar refrigerante al radiador, detenga el motor y deje que el motor y el radiador se enfríen antes de agregar el refrigerante.
- Presione el botón de liberación de presión en la tapa para ventilar la presión del sistema de enfriado.
- Suelte lentamente la tapa para aliviar la presión remanente al sacarla.

**4.2.10.2 Uso de Iluminación.** Cuando revise los niveles de combustible, aceite, refrigerante o electrolito de la Batería, use iluminación con especificación anti explosión. Si no se utiliza el equipo de luz indicado, hay peligro de explosión.

**4.2.10.3 Precauciones con la Batería.** Cuando repare el sistema eléctrico o haga soldadura eléctrica, saque el terminal Negativo (-) de la batería, para detener el flujo de corriente.

**4.2.11 Manipulación de Mangueras a Alta Presión.** No doble ni golpee con objetos duros las mangueras a alta presión. No use cañerías, tubos ni mangueras doblados ni agrietados. Se pueden reventar durante el uso.

Siempre repare cualquier manguera suelta o rota. Si se filtra combustible o aceite, puede producirse un incendio.

#### **4.2.11.1 Precauciones con el Aceite a Alta Presión.**

- No olvide que los circuitos del equipo de trabajo están siempre bajo presión.
- No agregue ni drene aceite, ni efectúe mantención ni inspección antes de haber aliviado completamente la presión interna.
- Si el aceite está filtrando a alta presión por pequeños agujeros, es peligroso si el chorro de aceite a presión cae en la piel o entra a los ojos. Use siempre anteojos de seguridad y guantes gruesos y use un pedazo de cartón o lámina de madera para comprobar el escape de aceite. (Caterpillar, 2015)
- Si recibe un chorro de aceite a alta presión, consulte de inmediato a un médico.



Figura 86. Símbolo de peligro en manejo de altas presiones hidráulicas. (Caterpillar, 2015)

**4.2.12 Precauciones al Efectuar Mantenimiento a Alta Temperatura o Alta Presión.** Inmediatamente después de detener la operación, el refrigerante del motor y los aceites de operación están a alta temperatura y a alta presión. En estas condiciones, si se saca la tapa, se drena el aceite o el agua, o se reemplazan los filtros pueden producirse quemaduras u otras lesiones.

Espere que la temperatura y la presión bajen, antes de realizar la inspección y/o mantenimiento como se señala en el manual de servicio.



Figura 87. Símbolo de peligro en contacto con superficies calientes. (Caterpillar, 2015)

**4.2.12.1 Ventilador y Correas en Movimiento.**

- Aléjese de todas las partes giratorias tales como el ventilador del radiador y las correas del ventilador.
- Se pueden producir lesiones graves por contacto directo o indirecto con partes giratorias u objetos que puedan saltar.

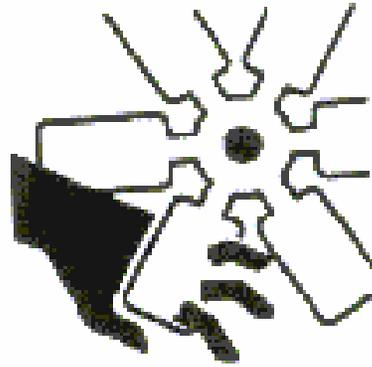


Figura 88. Símbolo de peligro en contacto con mecanismos en movimiento. (Caterpillar, 2015)

#### 4.2.13 Cuidados al realizar reparaciones.

1. Las reparaciones deben ser realizadas sólo por personal de mantenimiento calificado que entienda los sistemas que está reparando.
2. Muchos componentes del camión minero son grandes y pesados. Asegúrese que los equipos de elevación, tecles, eslingas, cadenas, ojales de elevación tengan la capacidad adecuada para manejar la carga.
3. No trabaje bajo una carga suspendida. No trabaje bajo una tolva elevada a menos que se tengan los cables, puntales y pernos de seguridad para mantenerla en posición arriba.



Figura 89. Camión con caja de volteo elevada. (Normet , 2014)

4. No haga reparaciones ni mantenimiento en el camión mientras el motor esté funcionando, excepto cuando tenga que hacer ajustes en tales condiciones. Mantenga una distancia segura de las partes móviles.
5. Cuando se esté revisando el funcionamiento del sistema de aire acondicionado con refrigerante, use una máscara y guantes resistentes al frío para protegerse de un posible congelamiento. Asegúrese de seguir todas las regulaciones vigentes para el manejo y reciclado de los refrigerantes.
6. Siga cuidadosamente las instrucciones del fabricante cuando use solventes de limpieza.
7. Si se necesita la asistencia de una batería auxiliar, use primero un cable para conectar el borne positivo (+) de 24V de las baterías del camión inhabilitado al borne positivo (+) de 24V de la batería auxiliar. Use el segundo cable para conectar el borne negativo (-) de 24V de la batería auxiliar a tierra de chasis (-) en el camión inhabilitado lejos de la batería. (Caterpillar, 2015)
8. Siempre desconecte los cables negativo y positivo de la batería del vehículo antes de realizar soldaduras en el camión. De lo contrario, podría causar serios daños a la batería y al equipo eléctrico. Desconecte el cable conductor del alternador de carga de la batería y aisle los componentes de control electrónico antes de realizar reparaciones con soldadura. (No es necesario desconectar o sacar las tarjetas de circuito de control de los camiones tolva de accionamiento eléctrico o cualquiera de las tarjetas de control de circuito.  
Para realizar trabajos de soldadura siempre conecte el conductor (-) de tierra de la máquina soldadora, a la pieza que se esté soldando; la pinza de tierra debe ponerse lo más cerca posible a la zona de soldadura. Nunca deje que la corriente de soldadura pase a través de los rodamientos de bola, rodamientos de polines, suspensiones o cilindros hidráulicos.  
Siempre evite tender cables de soldado sobre o cerca de los cables eléctricos del vehículo. Puede inducirse el voltaje de soldadura en el cableado eléctrico y causar daños a los componentes.
9. Si debe remolcar el camión por cualquier razón, utilice una barra de remolque rígida. Revise la placa de la cabina del camión en la que aparecen las

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 088
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

precauciones de remolque recomendadas. (También consulte el Manual de Operación y Mantenimiento, Instrucciones de Operación - Remolcar).

10. Drene, limpie y ventile los estanques de combustible y/o hidráulicos antes de hacer cualquier reparación con soldadura. (Caterpillar, 2015)

#### **4.2.14 Manejo de residuos de la lubricación e impactos ambientales.**

##### **4.2.14.1 Normas y procedimientos para la gestión de aceites usados.**

- **Acopiadores primarios:** Talleres, tecnical centros, servitecas, estaciones de servicio e industrias.
- **Movilizadores:** Traslado de aceites usados a sitios de acopio secundario, a procesadores o a dispositivos finales debidamente autorizados por la autoridad ambiental competente.
- **Acopiadores secundarios:** Reciben de dos o más movilizadores, los aceites almacenados por diferentes acopiadores primarios, deben tener una capacidad de almacenamiento superior a 2000 galones para luego ser entregados por medio de movilizadores a procesadores y/o dispositivos finales.
- **Procesadores y disposición final:** Quienes transforman los aceites usados para que puedan ser reutilizados con bajo impacto ambiental, o que hacen disposición apropiada de los mismos.

##### **4.2.14.2 Prohibiciones.**

- El almacenamiento de aceite usado en tanques fabricados de concreto, revestidos en concreto, y de asbesto-cemento.
- La disposición de residuos de aceites usados o de materiales contaminados con aceites usados mediante los servicios de recolección de residuos domésticos.
- La mezcla de aceites usados con cualquier tipo de residuos sólidos.
- El cambio de aceite motor o de transmisión en espacio público o en áreas privadas de uso comunal.
- El almacenamiento de aceites usados por un lapso mayor a tres meses.
- Todo vertimiento de aceites usados en aguas superficiales, subterráneas y en los sistemas de alcantarillado.
- Todo depósito o vertimiento de aceites usados sobre el suelo.

- Actuar como dispositor final, sin la debida licencia expedida por la autoridad ambiental competente. (Autores, 2015)



Figura 90. Acopio de canecas de aceite. (Eco-Question.com, 2015)

#### **4.2.14.3 Área de lubricación.**

- Debe estar claramente identificada, sus pisos construidos en material solido impermeable que evite la contaminación del suelo y las fuentes de agua subterránea, sin grietas ni defectos que impidan la fácil limpieza de grasas, aceites o cualquier otra sustancia deslizante.
- No debe poseer ninguna conexión con el alcantarillado.
- Garantizar una excelente ventilación, ya sea natural o forzada, en especial si hay presencia de sustancias combustibles.
- El área de lubricación debe estar libre de materiales, canecas, y cualquier otro tipo de objetos que impidan el libre desplazamiento de equipos y personas.
- Dique o muro de contención o tanques subterráneos.
- Debe poder confinar posibles derrames, goteos o fugas producidas al recibir o entregar aceites usados hacia o desde tanques y tambores o por incidentes ocasionales.
- Debe tener la capacidad mínima para almacenar el 100% del volumen del tanque más grande más el 10% del volumen de los tanques adicionales.
- El piso y las paredes deben ser construidos en materiales impermeables.

- En todo momento se debe evitar el vertimiento de aceites usados o de aguas contaminadas con aceites usados a los sistemas de alcantarillado o al suelo. (Caterpillar, 2015)



Figura 91. Área de lubricación. (www.maquinariaspesadas.org, 2015)

**4.2.14.4 Tanques superficiales o tambores.** Deben ser elaborados en materiales resistentes a la acción de hidrocarburo y se debe permitir el traslado de recipientes de recibo primario hacia el sistema de transporte a ser utilizado, garantizando que no se presenten derrames, goteos o fugas de aceite usado.

Se debe contar con un sistema de filtración instalado en la boca de recibos de aceites usados del tanque o tambor en operación, que evite el ingreso de partículas con dimensiones superiores a 5 milímetros.

Todos estos deben estar rotulados con la palabra aceite usado en tamaño legible, las cuales deberán estar a la vista en todo momento.

Nunca elimine el aceite de desecho en un sistema de alcantarillado ni en ríos, etc.

- Siempre ponga el aceite drenado de su máquina en un recipiente adecuado.
- Nunca drene aceite directamente al suelo.
- Obedezca las leyes y reglamentos apropiados al desechar cualquier elemento nocivo, como aceite, combustible, refrigerante, solvente, filtros, baterías y otros. (Eco-Question.com, 2015)

## INCORRECTO

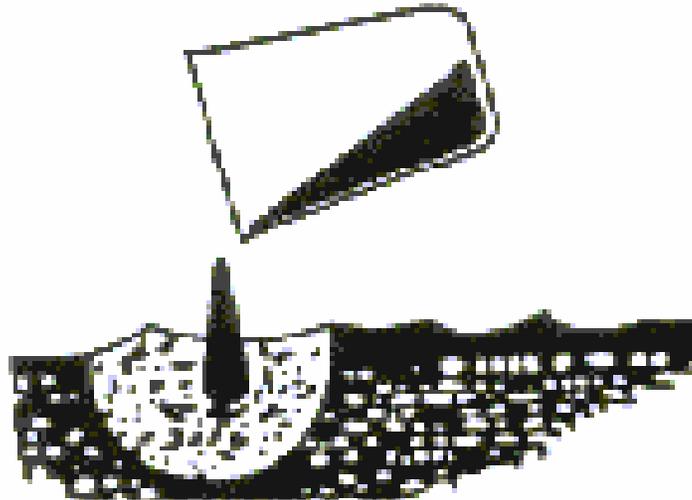


Figura 92. Símbolo de manejo incorrecto de residuos de lubricación. (Caterpillar, 2015)

### **4.3 Diseño e implementación de programa tribológico con aceite Delo 400 MGX SAE 15W40 API CJ-4 en Motor Diesel Deutz TCD 2013 L4.**

Para empezar el diseño del plan tribológico se realiza una guía de actividades que puedan ser ejecutadas según los periodos y secuencias apropiadas para el cambio o revisión de componentes y fluidos de los sistemas de tren de fuerza del camión minero. Para cada cambio y toma de muestras de aceites se tuvieron en cuenta las recomendaciones de los fabricantes de las máquinas y también de los fabricantes de aceite, ya que dichos cambios de aceite, requieren tener a mano la información sobre las especificaciones de la máquina en sus componentes a lubricar, tipo de trabajo y temperaturas del ambiente donde se desempeñará el camión. (Autores, 2015)

Todos los mantenimientos que se ejecutaron en dicho equipo, es registrado en bases de datos que posee la empresa, y el diligenciamiento y aprobación de dichas guías de mantenimiento es programado y regulado por personal técnico y administrativo del área de mantenimiento, ya sea en taller central de la empresa o en obras que este ejecutando la empresa por fuera del área local.

La ejecución de todo trabajo de mantenimiento y reparación, debe contar con el espacio y terrenos a nivel apropiados para la evacuación de fluidos, desarme de componentes y medición correcta de nivel de fluidos.

Para este diseño proponemos ejecutar la siguiente guía: Primero agruparemos los intervalos de mantenimiento entre los siguientes periodos de trabajo en horas. (Autores, 2015)

Primero tuvimos en cuenta que la secuencia de mantenimientos son cada 600 horas normalmente, pero primordialmente, los cambios de aceite de los sistemas hidráulicos y tren de fuerza se realizan entre las 1000 y 5000 horas de trabajo.

Además se tomaron muestras de aceite las primeras 300 horas de servicio para verificar el comportamiento del aceite a base de boratos y el desgaste de los componentes de cada sistema. (Autores, 2015)

También utilizamos las siguientes letras que definan el tipo de trabajo que se debe hacer en cada mantenimiento así:

C = Cambiar.

E = Ejecutar.

A continuación redactamos una tabla con los periodos en horas para la realización de los cambios y revisiones periódicas de los componentes para el motor Diesel TCD 2013 L4 en un camión minero Subterráneo Normet 1060D.

En la Tabla 5 se describe la secuencia de mantenimiento según el diseño del plan tribológico.

Tabla 5. Mantenimiento programado del motor Diesel.

ACTIVIDADES	DIARIA MENTE	300 HORAS	600 HORAS	1000 HORAS	1500 HORAS	3000 HORAS	6000 HORAS	12000 HORAS
Comprobar el nivel de aceite	E	E	E	E	E	E	E	E
Comprobar el nivel de refrigerante	E	E	E	E	E	E	E	E
Comprobar el nivel de combustible	E	E	E	E	E	E	E	E
Comprobar el prefiltro de combustible	E	E	E	E	E	E	E	E
Comprobar que no existan fugas de aceite	E	E	E	E	E	E	E	E
Comprobar el purificador de aire	E	E	E	E	E	E	E	E
Comprobar que no hayan fugas o mangueras rotas en la admisión	E	E	E	E	E	E	E	E
Comprobar los indicadores del tablero y alarmas	E	E	E	E	E	E	E	E
Cambiar aceite de motor			C					
Cambiar filtro de lubricacion del motor			C					
Tomar muestra de aceite del motor		E	C					
Comprobar estado de la correa trapezoidal del motor				E				
Cambiar filtro primario de combustible		C	C					
Cambiar filtro secundario de combustible		C						
Limpiar con aire o con agua a presión el radiador		E						
Cambiar el filtro purificador de aire		C						
Comprobar estado de las bujias de precalentamiento				E				
Comprobar sistema monitor y control de la máquina	E							
Revisar estado de soportes del motor				E				
Comprobar los sensores e indicadores de tempratura de motor y transmisión	E							
Ajuste la holgura de la válvulas					E			
Sustituir válvulas o pluggin de la bomba de inyección							E	
Realizar inspección visual final al motor								E
Cambiar el refrigerante								E
Sustituir la correa trapezoidal acanalada						C		

Fuente: (Autores, 2015)

Como parte fundamental de este trabajo investigativo, nosotros hemos diseñado un nuevo plan de mantenimiento programado descrito en la tabla 5 y que se pueda efectuar según los criterios técnicos especificados por el nuevo lubricante DELO 400 MGX 15W40 API CJ 4 que aplica solo para motores Diésel. Este lubricante nos propone unas nuevas frecuencias de mantenimiento y por consiguiente menos paradas de los equipos.

Entre las tareas de revisión según la guía de mantenimiento, se tomaron las muestras de aceite recomendadas por el distribuidor.

Para verificar el estado y secuencia de actividades de mantenimiento, utilizamos la anterior guía o tabla de actividades. (Autores, 2015)

**4.3.1 Mantenimiento Preventivo.** Para realizar cualquier tipo de mantenimiento, procuramos siempre estacionar el camión en lugares adecuados y bien nivelados para verificar el estado de los fluidos y los componentes.

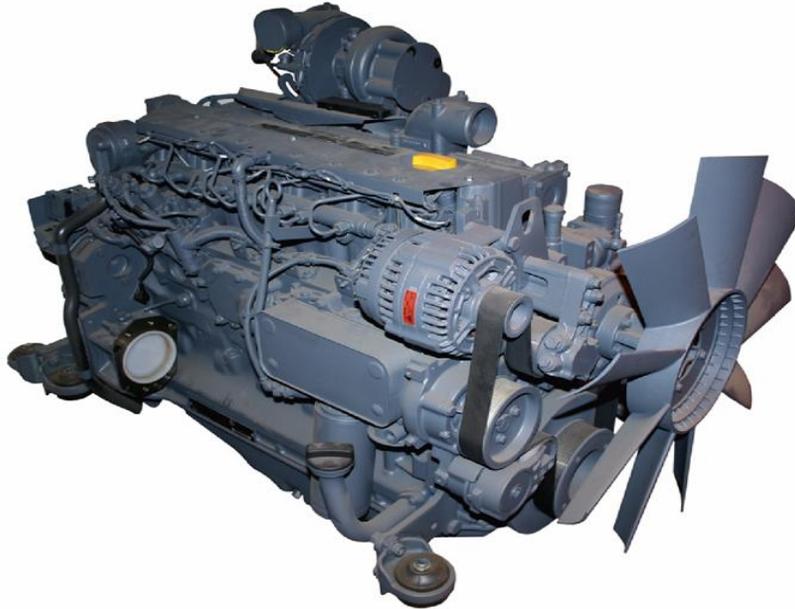


Figura 93. Motor Deutz 2013 L4. (Normet , 2014)

**4.3.2 Recomendaciones.** Consideramos importante aclarar que el motor debe estar apagado y está prohibido fumar y usar llamas abiertas. Durante el funcionamiento del motor, nunca deberán desconectarse los Conductos de inyección / alta presión y esto causa lesiones a los ojos o la piel. Debemos extremar las medidas de precaución cuando manipulemos combustible y aceite caliente.

- Para las reparaciones y las demás tareas en el sistema de combustible y lubricación, debemos mantener una limpieza absoluta. Limpiar con cuidado los alrededores de los componentes correspondientes al motor.
- Se deben secar las áreas mojadas con aire comprimido. (Autores, 2015)
- Respetar las medidas de seguridad y las regulaciones nacionales en materia de manipulación de combustibles y aceites lubricantes.
- Eliminar el exceso de combustible y los elementos del filtro según establezcan las normativas en utensilios y lugares adecuados para su acopio. No dejar que el combustible y el aceite se filtre en el suelo. (Autores, 2015)

- Tras completar las tareas en el sistema de combustible, se debe purgar y realizar una prueba de funcionamiento, comprobando las posibles fugas.
- Comprobar que no haya fugas en el motor.
- Se Realizó una inspección visual en el motor por si hubiera remaches sueltos o fugas de aceite y comprobamos el desgaste y los daños. Esta inspección se debe efectuar junto con cada una de las tareas de mantenimiento, en lugar de considerarse como un procedimiento separado.
- Cada vez que realizamos un procedimiento de mantenimiento, empleamos unos minutos en comprobar si hay daños o deterioros en las mangueras y el cableado eléctrico. Comprobamos si hay piezas sueltas, fugas de líquidos o daños estructurales.

Este tipo de mantenimiento preventivo nos permite localizar problemas potenciales, evitándose de este modo muchas horas de parada del motor.

A continuación describimos los pasos a tener en cuenta para un buen mantenimiento de los radiadores.



Figura 94. Enfriadores del Motor y Transmisión. (Normet, 2014)

En la figura 92 se pueden apreciar el compartimento de radiadores de motor con sus respectivos conductos para las líneas de aceite y refrigerante.

#### 4.3.3 Mantenimiento de los Radiadores.

**4.3.3.1 Limpieza con aire comprimido.** Se elimina la suciedad mediante soplado. Inyectando aire en el refrigerador y las aletas de refrigeración siempre desde el lado de aire de escape hacia el lado de aire limpio.

#### 4.3.3.2 Limpieza con limpiador desengrasante.

1. Se lava a presión el motor con limpiador desengrasante y debemos dejarlo actuar durante aprox. 10 minutos.
2. Se Lava a presión el motor con un chorro de agua a presión para terminar de limpiarlo.
3. Se enciende el motor y se Calienta el para que se evaporen los restos de agua.

#### 4.3.3.3 Limpieza con vapor a alta presión.

1. Se limpia el motor con un chorro de vapor (presión de aplicación máx. 60bares, temperatura máx. del vapor 90°C, distancia mínima 1 m).
2. Se Calienta el motor para que se evaporen los restos de agua.

#### 4.3.4 Mantenimiento al sistema de combustible.

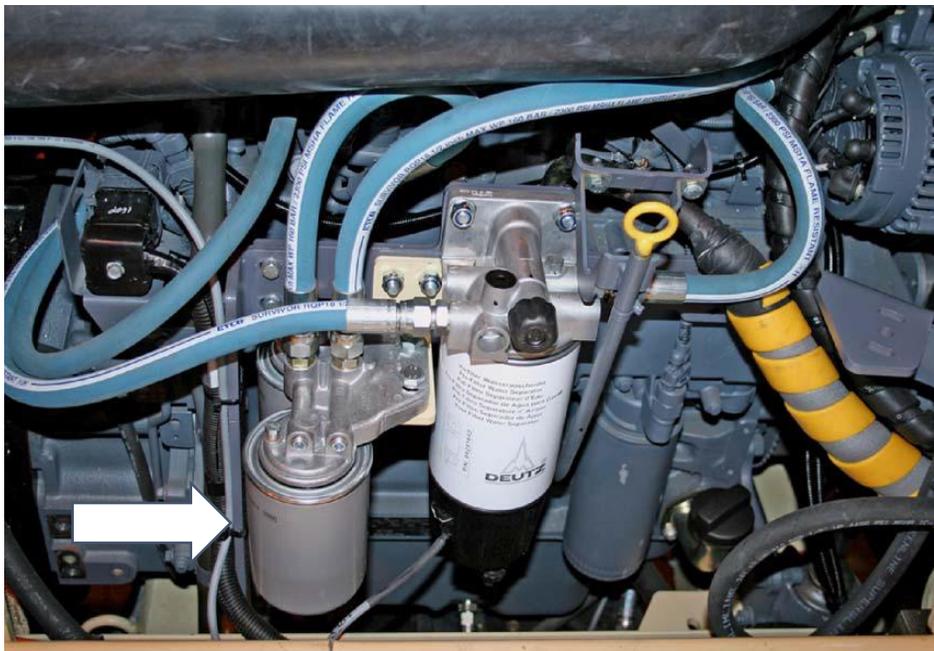


Figura 95. Filtro de combustible del motor DEUTZ. (Normet , 2014)

Para realizar mantenimiento preventivo al sistema de combustible tuvimos en cuenta los siguientes pasos, ya que este sistema es vital para el buen funcionamiento del motor. Primero se cambia el filtro de combustible y se verifican las impurezas y suciedades.

Cuando el filtro de combustible está muy sucio u obstruido, el motor presenta fallas de funcionamiento como pérdida de potencia o fallas en el encendido del motor.

Para tener un óptimo funcionamiento del filtrado de combustible, se debe usar combustible limpio y depositado en el tanque de manera eficiente con utensilios adecuados como bombas eléctricas o manuales.

Por consiguiente tuvimos en cuenta las siguientes recomendaciones:

1. Aflojamos el cartucho del filtro usando llave de filtros.
2. Recogemos el combustible que se vierte.
3. Limpiamos la superficie de sellado del soporte del filtro con un paño limpio y sin hilachas.
4. Lubricamos ligeramente la junta del cartucho de filtro nuevo.
5. Después se monta y se aprieta el nuevo filtro con un torque de 15 a 17 Nm.
6. Procedemos a Purgar el sistema de combustible.



Figura 96. Filtro separador de sedimentos del combustible. (Normet , 2014)

Para realizar mantenimiento al filtro separador de sedimentos en el combustible, se tuvieron en cuenta las siguientes recomendaciones:

1. Colocamos un recipiente de recogida de combustible debajo del prefiltro de combustible.
2. Aflojamos el grifo de drenaje y drenamos completamente el agua /Combustible.
3. Desmontamos el cartucho del filtro junto con el recipiente de recogida de agua en sentido anti horario y retírelos.
4. Desatornillamos el recipiente de recogida de agua del cartucho del filtro girándolo en sentido antihorario y retírelo.
5. Vaciamos el combustible restante en el recipiente de recogida de combustible y limpiamos el recipiente de recogida de agua.
6. Atornillamos el recipiente de recogida de agua en el cartucho del filtro nuevo girando en sentido horario.
7. Limpiamos la suciedad de la superficie de sellado del cartucho del filtro nuevo y el lateral opuesto del cabezal del filtro.
8. Humedecemos ligeramente las superficies de sellado del cartucho del filtro con combustible y vuelva a atornillar el cabezal del filtro en sentido horario (17---18 Nm).
9. Abrimos la llave de paso de combustible y purgue el sistema.
10. Eliminamos correctamente el combustible recogido y el cartucho del filtro usado.

#### **4.3.5 Mantenimiento de los filtros de admisión de aire del motor.**

Para realizar el mantenimiento y cambio del filtro de admisión de aire del motor, tuvimos en cuenta las siguientes recomendaciones como: la máquina debe estar apagada porque si el motor esta encendido y sin los filtros de admisión, la presión de succión que genera este hacia las cámaras de combustión puede recoger polvo, arena o elementos livianos que pueden entrar hacia las cámaras de combustión del motor y causar daños en válvulas de admisión y anillos de pistón.

Para realizar un óptimo mantenimiento preventivo a los filtros de admisión diseñamos y describimos los siguientes pasos:



Figura 97. Filtros de Admisión del motor. (Normet , 2014)

Nunca limpiar el filtro con gasolina o líquidos calientes.

1. Se Abren los cierres de clip (4).
2. Quitar la cubierta (3) y extraer el filtro (1).
3. Limpiar el filtro, y sustituirlo al menos una vez al año.
4. Limpiar el filtro (2).

Usando aire comprimido seco (máx. 5 bares), limpiar desde dentro hacia Fuera, o Golpear solo en caso de emergencia. No debemos dañar el filtro.

5. Se Comprueba que el filtro de papel no esté excesivamente tupido y que las juntas no estén dañadas. Se cambia en caso necesario.
6. Tras cinco intervalos de servicio del filtro, o como máximo cada dos años, se debe cambiar el cartucho de seguridad (4).
7. Se instala el cartucho (3), y se vuelve a colocar la cubierta (2) y los cierres de clip (4).

**4.3.6 Mantenimiento preventivo del filtro de Lubricación.** Para realizar el cambio del filtro de aceite de lubricación del motor, se debe tener en cuenta que el motor debe estar apagado y en un lugar adecuado para drenar el aceite; la máquina debe estar horizontal y en terreno plano para verificar niveles de aceite.

Si el aceite aún está caliente debido al trabajo continuo del equipo, debemos esperar 10 minutos a que baje todo el aceite al Carter del motor y que además baje un poco la

temperatura del aceite. Cuando quitemos el filtro debemos cuidarnos de posicionarnos a un lado del filtro para no derramar parte del lubricante sobre nuestras extremidades.

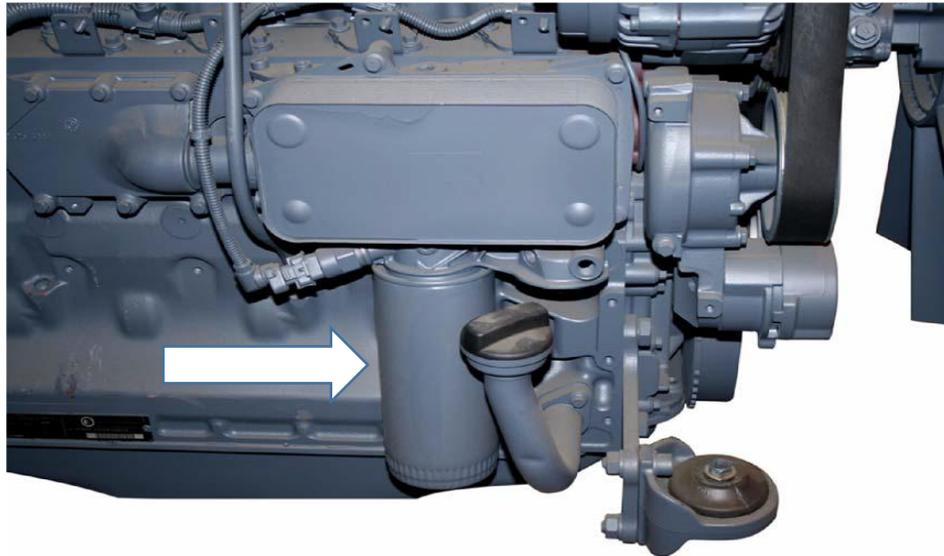


Figura 98. Filtro de Aceite del motor. (Normet , 2014)

En la figura se puede observar la posición del filtro de lubricación y para realizar el mantenimiento de este tuvimos en cuenta los siguientes pasos:

No se debe realizar nunca un llenado previo del cartucho del filtro. Existe peligro de Contaminación.

1. Aflojamos y desatornillamos el cartucho del filtro usando la herramienta.
2. Recogemos el aceite drenado.
3. Limpiar la superficie de sellado del soporte del filtro con un paño limpio y sin hilachas.
4. Se Lubrica ligeramente la junta del cartucho de filtro nuevo.
5. Apretamos el nuevo filtro con un torque de 15 a 17 Nm.

#### 4.4 Mantenimiento Correctivo

Para realizar un mantenimiento correctivo se tuvieron en cuenta los siguientes pasos que se podrían aplicar durante el reacondicionamiento o reparación del motor como:

- Diagnosticar o determinar la razón para efectuar el trabajo.
- Desarmar de acuerdo con un procedimiento lógico.
- Inspeccionar si hay desgaste y determinar las piezas aprovechables.
- Reparar, reacondicionar o reemplazar las piezas necesarias.

- Armar y ajustar.
- Efectuar las comprobaciones necesarias.

A continuación realizamos una tabla con la descripción de algunos problemas y posibles soluciones a las varadas súbitas que se pueden presentar en un motor Diésel.

Tabla 6. Averías y posibles soluciones en motores Diésel.

AVERIAS	CAUSAS	SOLUCIONES
	No desembragado (si es posible)	Compruebe el embrague
	Palanca de arranque/parada del motor en posición de parada/solenoide de parada averiado (para un sistema de inyección mecánico)	Comprobar/cambiar
	No se ha llegado a la temperatura límite de arranque	Comprobar
	Nivel de aceite de lubricación demasiado alto	Compruebe el nivel de aceite lubricante y drenarlo en caso necesario.
	Presión posterior de escape demasiado alta.	Comprobar
	Correa trapezoidal/Correa trapezoidal acanalada (Bomba de combustible en la transmisión por correa)	Compruebe si está rota o suelta
El Motor no arranca o gira muy lento	El aceite lubricante del motor tiene el grado de viscosidad SAE incorrecto.	Cambie el aceite lubricante
	La calidad del combustible no se ajusta a las especificaciones del manual de funcionamiento.	Cambie el combustible
	Aire en el sistema de combustible	Purgue el aire del sistema de combustible
	La batería está averiada o no está cargada	Comprobar la batería
	Las conexiones del cable hacia el motor de arranque están sueltas u oxidadas	Conexiones del cable Comprobar
	El motor de arranque está averiado o la marcha no se engrana	Compruebe el motor de arranque
	La carga de base es demasiado alta	Reduzca la carga
El motor no arranca y arroja humo negro	1. Filtro de aire taponado.	1. Cambiar el elemento Filtrante
	2. Inyectores defectuosos	2. Controlar y regular los inyectores,
	3. Velocidad del motor de arranque insuficiente	3. Comprobar la batería,
	4. Mal calado de la bomba.	4. El circuito eléctrico, el motor de arranque
		5. Calidad del aceite del motor

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 088
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

El motor no arranca y arroja humo blanco	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pre calentamiento defectuoso</li> <li>2. Dispositivo de arranque en frío no funciona</li> <li>3. Mal calado de la bomba,</li> <li>4. No hay sobrecarga de arranque</li> <li>5. Junta de culata defectuosa</li> <li>6. Depósito de combustible vacío 7. filtro de combustible taponado.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Controlar el circuito eléctrico y cambiar las bujías defectuosas</li> <li>2. Regular el dispositivo de arranque</li> <li>3. Controlar el calado de la bomba</li> <li>4. Circuito de alimentación o de retorno de combustible defectuoso</li> <li>5. Controlar la electroválvula de apagado</li> <li>6. Reparar bomba de combustible defectuosa.</li> </ol>
El motor no arranca y no arroja humo	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Electroválvula de apagado defectuosa</li> <li>2. Alimentación de combustible defectuosa</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Verificar el circuito eléctrico y el funcionamiento de la electroválvula de apagado</li> <li>2. Revisar la bomba de combustible</li> <li>3. Verificarla hermeticidad del circuito y purgar el circuito</li> <li>4. Purgar y drenar el aire en las líneas de combustible.</li> </ol>
El motor arranca y luego se detiene	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Filtro de combustible taponado</li> <li>2. filtro de aire taponado</li> <li>3. Aire en el circuito de combustible.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sustituir el elemento filtrante de combustible</li> <li>2. Cambiar el filtro de admisión</li> <li>3. Comprobar la estanqueidad del sistema de combustible y purgarlo.</li> </ol>
El motor no tiene suficiente potencia	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Filtro de combustible taponado, mando del acelerador mal regulado</li> <li>1. circuito de combustible defectuoso</li> <li>2. líneas de combustible taponadas</li> <li>3. mal calado de la bomba</li> <li>4. inyectores defectuosos</li> <li>5. bomba deficiente.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cambiar el elemento filtrante</li> <li>2. regular el mando de acelerador revisar el depósito, líneas de alimentación y retorno de combustible</li> <li>3. purgar el sistema</li> <li>4. comprobar estado y calibrado de los inyectores</li> <li>5. Desmontar bomba de inyección y ajustarla en el banco de inyección.</li> </ol>
El motor no tiene suficiente potencia, consume mucho combustible y echa humo.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Filtro de aire sucio.</li> <li>2. .Inyectores defectuosos.</li> <li>3. Válvulas mal reguladas.</li> <li>4. Mal calado de la bomba.</li> <li>5. Distribución mal ajustada.</li> <li>6. Compresión insuficiente.</li> <li>7. escape parcialmente taponado.</li> <li>8. Temperatura de funcionamiento en marcha demasiada baja.</li> <li>9. Bomba de inyección deficiente.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Limpiar o cambiar el filtro.</li> <li>2. Comprobar estado y calibración de los inyectores.</li> <li>3. Calibrar juego de balancines.</li> <li>4. Controlar calado de la bomba.</li> <li>5. Ajustar la distribución.</li> <li>6. Comprobar la compresión y el estado del motor.</li> <li>7. Verificar el circuito del escape.</li> <li>8. Verificar el circuito de refrigeración.</li> <li>9. Reparar bomba de Inyección.</li> </ol>

Fuente. (Autores, 2015)

Estos pasos se aplican para reparaciones parciales para el reacondicionamiento o reconstrucción. Una reparación sería solo en una parte del motor. En el reacondicionamiento de la culata (cabeza) solo se trabaja en la culata y piezas correlativas, mientras que, para el reacondicionamiento o reconstrucción del motor, la secuencia para diagnosticar, desarmar, etc.; se aplicaría en todo el conjunto del motor, incluso sus accesorios.

Los procedimientos varían según la marca del motor y hay que consultar los manuales del taller, del fabricante para mayor información. Sin embargo, hay muchos métodos comunes para reacondicionamiento de motores. (May, 1998)

Por consiguiente tuvimos en cuenta algunos tipos de trabajo de mantenimiento, reparación o reacondicionamiento que se efectúan en los motores diesel como son:

**4.4.1 Mantenimiento programado.** Es un programa sistemático de lubricación, comprobaciones y ajustes que se efectúan a los intervalos recomendados por el fabricante. El mantenimiento (conservación) prolonga la duración del motor y le conserva su rendimiento. Por lo anterior recomendamos el trabajo de mantenimiento a intervalos de 600 horas en adelante.

**4.4.2 Reparaciones.** Pueden ser mayores o menores y necesarias por problemas tales como fugas de líquido enfriador, de aceite, de combustible, pérdida de potencia, sobrecalentamiento o ruidos en el motor. Estas reparaciones casi siempre no son programadas ya que muchas veces se presentan como varadas súbitas.

**4.4.3 Reacondicionamiento de culatas (cabezas).** En este paso analizamos que esto incluye desmontar la culata de cilindros para trabajar en las válvulas, asientos y piezas correlativas. Esto puede ser parte de un programa de mantenimiento extendido o hacerse necesario por pérdida de potencia, quemadura de válvulas, escapes por la junta de culata o guías y sellos de válvulas gastados. (May, 1998)



**Figura 99.** Servicio y reparación en Culata o (cabeza) de Motor diesel. (Cuesta, 2003)

**4.4.4 Reparación por fugas.** Aquí investigamos que las reparaciones que incluyen desmontar el depósito de aceite (Carter) son fugas de aceite por la junta del depósito o por los sellos delantero o trasero de aceite del cigüeñal. Otros problemas más serios podrían ser golpeteo de cojinetes, pérdida de presión de aceite o ruidos en el motor.

**4.4.5 Reacondicionamiento Parcial.** Según nuestra experiencia esta actividad puede ser necesaria como resultado de un largo tiempo de operación, pérdida de potencia, consumo excesivo de aceite o ruidos en el motor. En estos casos, un reacondicionamiento o ajuste parcial puede ser satisfactorio. Podría incluir reacondicionamiento de culatas y reemplazo de camisas de cilindro, pistones y cojinetes de biela.

**4.4.6 Reacondicionamiento General.** El reacondicionamiento general o reconstrucción, por lo común, se necesita después de un largo tiempo de funcionamiento, cuando se nota desgaste del motor por una o más de las siguientes condiciones: pérdida de potencia, ruidos en el motor, consumo excesivo de combustible o humo en el escape. También se debe efectuar el reacondicionamiento para corregir daños en los cilindros, cigüeñal y cojinetes ocasionados por falta de lubricación o porque el motor haya trabajado en condiciones anormales.

Para efectuar el reacondicionamiento general, primero hay que desmontar el motor de la unidad y desarmarlo del todo con un procedimiento específico. Luego se inspeccionan todas las piezas para determinar sus condiciones y si hay que ajustarlas, repararlas o reemplazarlas. Después se arma el motor y su rendimiento debe ser igual que el de un motor nuevo.

Durante el reacondicionamiento del motor se deben incluir los accesorios como la bomba de combustible, compresor de aire y bomba de vacío. (May, 1998)

**4.4.7 Comprobaciones antes de desarmar.** Antes de efectuar cualquier tipo de reparación se determina lo que se va a hacer y porque es necesario. El diagnóstico y pruebas precisos antes de empezar el trabajo determinaran lo que se necesita desarmar. Aunque los componentes internos no se pueden inspeccionar sin antes desmontar otras piezas, el tiempo dedicado al diagnóstico del problema puede evitar un trabajo innecesario.

Todos los registros del motor pueden ser útiles. Pueden ser el historial de mantenimiento, consumo de aceite, rendimiento y, quizá el tipo de trabajo en que se emplea el motor. El kilometraje recorrido por el vehículo o las horas de operación del motor son una guía del tipo y cantidad de desgaste que se encontrara en las diversas piezas del motor.

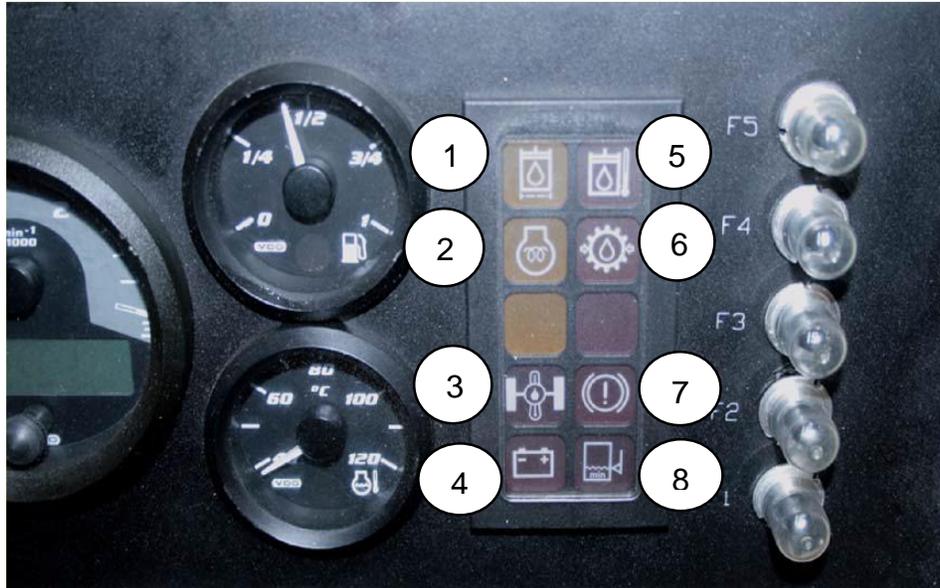
#### 4.5 Mantenimiento Predictivo

Para la realización de un excelente mantenimiento predictivo tuvimos en cuenta que es importante el reporte diario de operación del operador del Camión minero, ya que estas personas deben revisar diariamente el estado y funcionamiento de todos los componentes y visualizar constantemente los indicadores o sistemas de información de pantalla que nos sugieren y avisan cualquier anomalía en el motor.

Por lo tanto se deduce que la revisión periódica del operador durante el funcionamiento de estos equipos, nos informara si existen anomalías en su temperatura de trabajo, ruidos o vibraciones anormales.

El funcionamiento del motor siempre esta monitoreado por indicadores y sensores que envían señales y mensajes de variables que se pueden supervisar continuamente como temperatura, presión de combustible y presión de lubricación.

- |   |                    |
|---|--------------------|
| 1. Presión del aceite del motor                   | Mín. 0,8 bar       |
| 2. Temperatura del líquido refrigerante del motor | Inferior a 110 ° C |
| 3. Presión de avance de la transmisión            | 16,5...20,7 bar    |
| 4. Temperatura del aceite de transmisión          | Inferior a 90 ° C  |
| 5. Voltímetro                                     | 24...28 V          |



**Figura 100.** Imagen de sistema de diagnóstico de fallas. (Normet , 2014)

1. Filtro de fluido de retorno hidráulico
2. Pre calentamiento del motor
3. Temperatura del eje
4. Carga de la batería
5. Temperatura del fluido hidráulico
6. Presión de avance de la transmisión
7. Presión del freno de servicio
8. Nivel de fluido hidráulico

Podemos decir que el sistema de monitor electrónico es una implementación del mantenimiento predictivo, ya que este sistema está en continua vigilancia del funcionamiento y operación de los componentes del camión minero.

Este sistema monitorea constantemente las señales enviadas por cada sensor, ya sea análogo o digital hacia el módulo de control de la máquina para ser analizada.

Aclaremos que este sistema es quien avisa al operador o personal técnico, si existen anomalías en el funcionamiento del Camión minero.

El módulo de control procesa la información, la compara y si existe algún dato erróneo, el sistema accionara una alarma luminiscente o sonora, que permita dar aviso al operador si existe algún problema y proceder a apagar la máquina. (Autores, 2015)

**4.5.1 Análisis de Aceite del motor Diesel.** Para iniciar con diseño del plan tribológico, se debió realizar una muestra de aceite para verificar el desgaste real de un motor Diesel y realizar un análisis periódico de las muestras de aceite para identificar sus propiedades y comportamientos y como interfieren en la lubricación de los componentes. Por todo lo anterior evaluamos el desgaste del motor analizando los datos sobre la tendencia normal al desgaste que presentan los distintos mecanismos del motor. Sé dedujo que un buen mantenimiento predictivo de motor depende de un análisis periódico de aceites, correctos mantenimientos, excelentes elementos de filtración y operación bajo condiciones normales de trabajo. Cuando todos estos factores cambian, también cambiaran los resultados del análisis de aceite y el desgaste del motor. (Autores, 2015)

A continuación, realizamos una tabla que contiene información sobre las partículas de materiales que se pueden presentar en una muestra de aceite usado de motor.

**Tabla 7.** Metales que se analizan en un aceite motor.

TIPO DE MATERIAL	ORIGEN
Silicio (sílice)	Aire exterior, de los aditivos antiespumantes.
Calcio	Aire exterior, aditivos detergentes.
Bario, magnesio	Aditivos detergentes.
Hierro, cromo	Anillos y camisas del motor.
Aluminio.	Pistones del motor.
Estaño, cobre, plata	Cojinetes del cigüeñal.
Plomo.	Cojinetes del cigüeñal.
Vanadio, sodio	Combustible quemado.
Boro.	Anticongelante del radiador.
Níquel.	De los vástagos de válvulas, del cigüeñal y del combustible quemado
Plata.	De la soldadura del radiador y de los cojinetes cuando son de plata.

Fuente: (Albarracin, 2000)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 088
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

Los metales que se verifican normalmente en un análisis de aceite de motor se indican en la tabla 7.

Cuando se detecta un aumento repentino de hierro en la muestra, se debe normalmente al desgaste de cilindros y anillos de pistón. También puede asociarse con la presencia de cromo en el caso de tener anillos cromados. En cuanto al contenido de silicio se debe a elementos de filtrado ineficientes, o muy sucios. El silicio es el principal factor de desgaste abrasivo, principalmente en la zona del punto muerto superior en la cámara de combustión de cada cilindro. También los niveles de desgaste se elevan cuando hay fugas y dilución de aceite en el combustible, ya que esto ocasiona que la película lubricante se adelgace y se deteriore la lubricación entre cilindros y pistón. (Autores, 2015)

Para analizar el desgaste en un resultado de prueba de aceite, se deben tener en cuenta los valores permisibles de cada elemento presente en el aceite usado y poder así dar una apreciación acerca del origen y sus posibles cambios en el rendimiento del motor.

Estos parámetros se tuvieron en cuenta a la hora de analizar las pruebas de aceite ya que nos ayudan a especificar si es normal o no el comportamiento del desgaste del motor y sus componentes. Por lo anterior se describe en la tabla 8 los valores permitidos de materiales en una muestra de aceite.

**Tabla 8.** Concentración permitida de partículas metálicas en el aceite usado de motor

Tipo de metal	Símbolo químico	Automotores	Diesel ferrocarriles	Marinos	Gas
Silicio	Si	20	10	20	10
Hierro	Fe	100	100	100	100
Aluminio	Al	20	20	40	40
Cromo	Cr	40	20	40	40
Estaño	Sn	20	0	0	0
Cobre	Cu	15	100	40	40
Plata	Ag	0	6	0	0
Plomo	Pb	100	100	100	40
Sodio	Na	0	100	0	0
Níquel	Ni	0	0	0	0
Boro	B	20	40	0	0
Zinc	Zn	0	10	0	0

Fuente: (Albarracín, 2000)

Como se describe en la tabla 8 en forma aproximada se tienen en cuenta los valores aproximados para tener datos comparativos que nos ayuden a entender cuáles son los valores tolerables de un metal en el aceite, o si por el contrario se deben tomar medidas correctivas al respecto. (Autores, 2015)

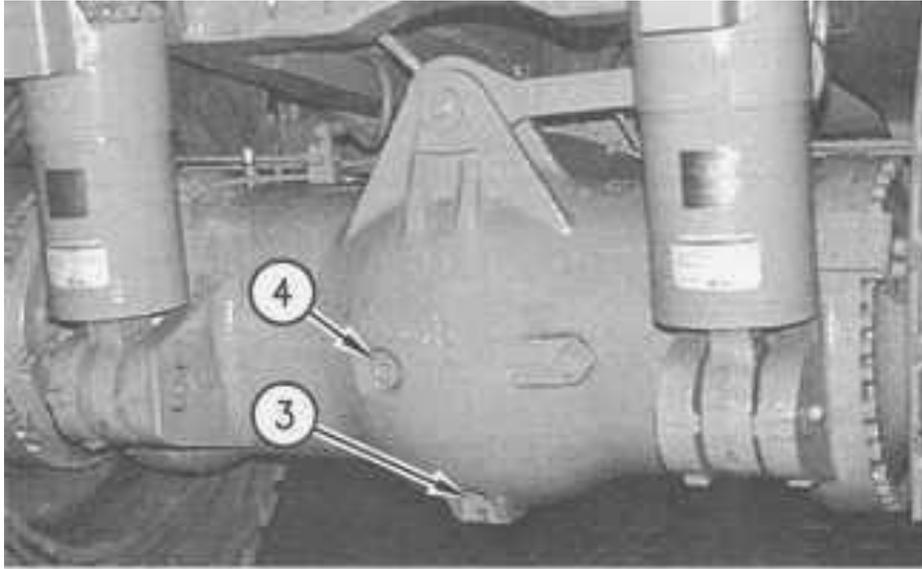
#### 4.6 Diseño de plan tribológico con aceite Delo Gear ESI SAE 85W140 API GL-5 en diferenciales de potencia y mandos finales

Para ejecutar el diseño del plan tribológico para las diferenciales de potencia, se tuvieron en cuenta los siguientes tipos de mantenimiento:

**4.6.1 Mantenimiento Preventivo.** En este tipo de mantenimiento se aconseja que, para prolongar la vida útil de los diferenciales de potencia, se debe asegurar que la operación del equipo sea de manera óptima según las especificaciones del fabricante y además que sus periodos de mantenimiento sean cumplidos en su mayoría según los datos obtenidos en el horómetro.

Por lo anterior para realizar un mantenimiento preventivo óptimo en las diferenciales recomendamos aplicar los siguientes pasos:

1. Estacionar la máquina en una superficie nivelada.
2. Verificar niveles de aceite.



**Figura 101.** Diferencial de un camión minero 730 CAT. (Caterpillar, 2012)

3. Se deben revisar averías y fugas en la carcasa y sellos de la diferencial.
4. Proceder a quitar tapón de llenado de aceite (4).
5. Tomar la muestra de aceite.



**Figura 102.** Procedimiento de extracción de muestra de aceite. (Autores, 2015)

Se debe quitar el tapón de drenaje de aceite (3).

6. Se Verifican si existen partículas metálicas en el aceite.
7. Se Verifican si existe emulsificación del aceite por presencia de agua o aceite hidráulico de los frenos.

Es importante resaltar que la verificación visual del estado del aceite, durante la realización de cada mantenimiento nos ayuda a diagnosticar inmediatamente muchos problemas que estén ocurriendo en el interior del diferencial. Cuando obtenemos partículas muy grandes de metales en el tapón magnético de drenaje, esto nos avisa que existe desgaste o fracturas de los componentes y que se debe reparar inmediatamente el conjunto diferencial.

8. Se revisa el ajuste y pernos de sujeción de las tapas de carcasa y juntas cardánicas.



**Figura 103.** Carcasa y junta cardanica del diferencial. (Normet , 2014)

En este procedimiento de inspección visual, debemos verificar si existen fugas de aceite, pernos de la carcasa flojos o rotos. También debemos verificar si la junta cardanica está bien sujeta al diferencial y tiene todos sus pernos de sujeción.



**Figura 104.** Tapón de llenado de diferencial. (Autores, 2015)

9. Se debe montar tapón de drenaje de aceite.
10. Se Llena la diferencial con el aceite recomendado por el conducto de llenado de aceite. (Aceite 85 W 140) Capacidad (5.2 Gal) Delo Gear ISOSYN.

Este aceite Multi Gear EP 85 W 140 que se viene utilizando en los diferenciales, se ha cambiado según la rutina de mantenimiento por lapsos de cada 1000 horas, pero con la nueva aplicación de aceites a base de boratos DELO GEAR ISOSYN, los cambios de aceite serán más prolongados porque se los cambios de aceite se efectuarán cada 5000 horas. Cada 600 horas de mantenimiento periódico se efectuarán tomas de muestras de aceite para análisis en laboratorio.



**Figura 105.** Imagen de ejes diferenciales. Fuente: (Normet , 2014)

Ahora se Verifica el estado y ajuste de las barras tensoras de las diferenciales.

Las barras tensoras permiten que la diferencial este siempre en posición vertical y sujeta siempre al chasis del camión. También absorben las fuerzas y movimientos de flexión y tracción a las que son sometidas las diferenciales durante el trabajo continuo en todo tipo de terrenos por donde circula el camión.

De un buen diagnóstico depende la vida útil de la diferencial, las tensoras y por consiguiente las juntas cardánicas.

En la Tabla 9 se diseñan y describen los pasos fundamentales para realizar un buen mantenimiento preventivo en diferenciales de potencia y mandos finales, según las especificaciones investigadas para la aplicación del nuevo aceite DELO GEAR ESI SAE 85W140 API GL-5

**Tabla 9.** Mantenimiento Preventivo de diferenciales y mandos finales

SECUENCIAS DE MANTENIMIENTO						
ACTIVIDADES	DIARIA MENTE	125 HORAS	300 HORAS	600 HORAS	1000 HORAS	5000 HORAS
Comprobar los niveles de aceite en los ejes diferenciales			E	E	E	
Comprobar el nivel de aceite en los mandos finales planetarios			E	E	E	
Cambiar el aceite de los ejes diferenciales						C
Toma de muestras de aceite en mandos finales planetarios			E			
Tomar de muestras de aceite en ejes diferenciales			E			
Cambie el aceite de los mandos finales planetarios						C
Lubricar los puertos de engrase del eje cardan de propulsión	E					
Comprobar el apriete de las tuercas de las ruedas	E	E				
Comprobar el ajuste de ejes cardanes y soportes	E	E				
Revisar y comprobar fugas de aceite en sellos y empaquetaduras de ejes diferenciales	E	E				
Compruebe el estado y la presión de los neumáticos		E				
Cambiar filtro de aceite de ejes diferenciales						C
Revisar si existen fracturas o grietas visibles en las costuras de soldadura de las carcazas de ejes diferenciales y mando finales	E	E				

Fuente: (Autores, 2015)

Aquí se describen las tareas relacionadas con el mantenimiento preventivo a estos mecanismos y sus componentes generales que se deben revisar e inspeccionar según la programación del mantenimiento y la comprobación de los elementos de desgaste y lubricación que se deben cambiar según el nuevo plan de mantenimiento, evitando al

máximo mal funcionamiento de los camiones mineros subterráneos en su operación normal. (Autores, 2015)

#### 4.6.2 Mantenimiento Correctivo.

**4.6.2.1 Revisión de la corona.** A continuación, realizamos el diseño del mantenimiento correctivo en diferenciales de potencia del Camión minero. Como bien sabemos, el mantenimiento correctivo se debe realizar cuando se evidencian problemas de funcionamiento en los diferenciales y se demuestran fallas por desgaste y fricción en los componentes y mecanismos internos del diferencial. Todo componente que se desarme debe ser examinado de forma que podamos descubrir si existen problemas de lubricación, aceite inadecuado o presencia de partículas o líquidos extraños en el interior de la diferencial.

No debemos olvidar las buenas prácticas de aseo y seguridad para la intervención de estos mecanismos.



**Figura 106.** Corona y piñón de ataque del diferencial. (Autores, 2015)

En la figura 106 se muestra un diferencial de potencia desarmado y debemos tener en cuenta las siguientes verificaciones: Cuando se desensambla el conjunto de diferencial, lo primero que podemos observar en sus mecanismos de funcionamiento es la corona,

que como se observa en la figura 106, es un piñón helicoidal. Este conjunto es el que más sufre desgaste y fricción en el diferencial, ya que en estos elementos se evidencian los daños ocasionados por el trabajo continuo y las fuerzas de tracción a las que son sometidos.

También se debe realizar una inspección visual de los rodamientos y alojamientos de estos, realizando una inspección visual para determinar si existe desajuste o problemas de lubricación.



Figura 107. Imagen de piñón de ataque y rodamientos. (Autores, 2015)

En la figura 107 podemos apreciar el piñón de ataque y sus respectivos rodamientos, que deben ser cambiados por piezas nuevas debido a problemas de desgaste y calentamiento excesivo.

A continuación diseñamos una tabla donde describimos las posibles fallas y soluciones que se pueden generar en la operación de las diferenciales de un Camión minero subterráneo.

Esta información es de gran ayuda para verificar el estado de dichos mecanismos y además porque nos agiliza la forma y métodos de corregir los problemas que se presentan en el continuo trabajo de estos equipos pesados.

**Tabla 10.** Averías y soluciones frecuentes en diferenciales de potencia

FALLA	CAUSA	SOLUCION
Ruido anormal en la marcha	Desgaste excesivo del conjunto piñón-corona, desgaste en piñones satélites o falta de lubricante.	Verificar nivel de lubricante, drenar el aceite para verificar partículas metales
Ruido anormal solo en curvas	Desgaste excesivo solo en piñones satélites y planetarios.	Desarmar conjunto y reparar
Golpes o vibraciones en el diferencial	Astillado de los dientes de los piñones, cuerpo extraño en el lubricante, tuerca de cardan suelta o tuerca del mando final suelta	Apretar tuercas y ejes cardan, Drenar el aceite y verificar cuerpos extraños, reparar conjunto diferencial y reemplazar piñones
Perdida de lubricación.	Fugas de aceite por juntas, empalmes o soldaduras de la carcaza	Verificar Nivel de aceite, corregir fugas de aceite, reemplazar juntas, soldar los empalmes fisurados.
El diferencial gira pero no hay tracción	Rotura de soportes de conjunto piñón corona, fractura de ejes de transmisión.	Desarmar el conjunto y reemplazar las piezas defectuosas.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 088
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

Calentamiento excesivo del conjunto diferencial	Falta de lubricación, desgaste y rotura de rodamientos, fractura de dientes del piñón, corona, satélites y planetarios	Verificar nivel de lubricante, drenar aceite, revisar estado del conjunto diferencial y reemplazar las piezas defectuosas.
---	--	--

---

Fuente: (Autores, 2015)

**4.6.2.2 Verificación del piñón de ataque y rodamientos.** Como se mencionó anteriormente En la figura 101 se puede apreciar el piñón de ataque, y que se denomina así porque este piñón ataca la corona y la hace girar dentro del conjunto diferencial.

La inspección de este mecanismo se debe hacer de manera eficaz, verificando si existen fracturas de los dientes, desgaste o desajuste del conjunto piñón y corona.

También se deben revisar los rodamientos cónicos para identificar si están picados o de color azul, así se puede diagnosticar que pueden existir problemas de lubricación o fatiga de materiales.

Para el posterior montaje se requiere principalmente cambiar todos los rodamientos en el conjunto diferencial. Muchas veces el grupo piñón-corona se puede volver a reutilizar, porque según el diagnóstico y verificación de ajuste se puede volver a montar normalmente y armar nuevamente el diferencial.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 088
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

Así se puedan volver a montar se deben reemplazar los rodamientos.



**Figura 108.** Tapa de diferencial. (Autores, 2015)

**4.6.2.3 Diagnóstico de tapas de diferencial y pistas de rodamientos.** Aquí Se realiza una inspección minuciosa en las tapas de las diferenciales, ya que éstas soportan los rodamientos del diferencial y el grupo de piñón- corona con su respectiva ecualización.

Aquí en este punto se verifico visualmente si existen desprendimientos de partículas metálicas y además si están bien sujetos a las tapas las pistas de los rodamientos, porque si existieran problemas de ajuste en estos componentes ocasionarían ruidos excesivos en la diferencial, calentamiento inusual del aceite y desgaste inmediato del conjunto piñón- corona.

Todos estos procesos de diagnóstico deben van acompañados de mediciones de tolerancias y ajustes que son definidos por los fabricantes de cada Camión minero.

Aunque casi siempre los daños en estos componentes se pueden verificar visualmente.



**Figura 109.** Corona y conjunto de piñones satélites y cruceta de ecualización. (Autores, 2015)

**4.6.2.4 Revisión del Grupo de piñones satélites y crucetas de ecualización.** Para revisar el estado de estos conjuntos de piñones satélites y crucetas, se optó por desarmar primero el grupo piñón- corona.

Aquí se detecta que es fácil detectar si existen problemas en estos mecanismos, ya que son los que más desgaste sufren y se puede visualizar con la aparición de partículas y desprendimiento de material de los piñones satélites y las crucetas, además se pueden apreciar ralladuras y desgaste excesivos en sus arandelas de ajuste y bridas de soporte de la ecualización como se muestra en la figura 110.



**Figura 110.** Resortes de freno del diferencial. (Autores, 2015)

**4.6.2.5 Diagnóstico de resortes de freno del diferencial.** En este punto según nuestra investigación sabemos que no todas las diferenciales poseen estos mecanismos de freno, aunque es importante analizar estos debido a que muchos camiones mineros y retro cargadores tienen este sistema en su tren de fuerza.

Estos resortes se revisan también visualmente para verificar si no hay resortes torcidos, rotos o muy comprimidos debido a las cargas de trabajo.

Dichos resortes accionan el freno sobre el piñón de ataque y por consiguiente al grupo diferencial, por esto se debe realizar una inspección visual minuciosa y verificamos su estado para calificar si deben ser reemplazados.

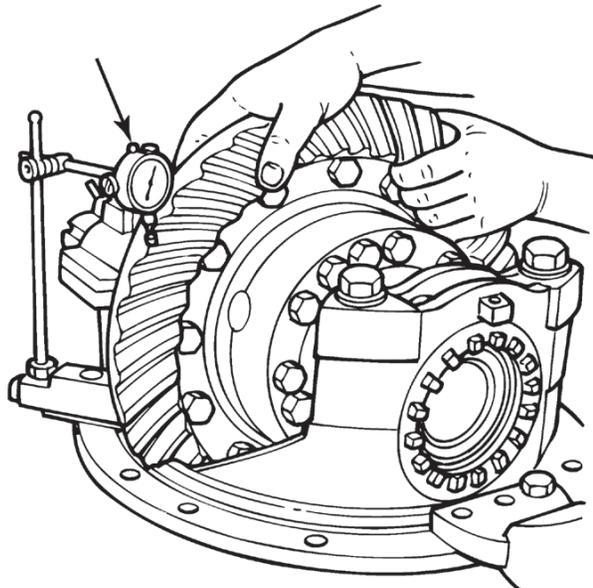
**4.6.2.6 Montaje del diferencial.** Antes que el diferencial sea desmontado, se usa un reloj comparador de caratula para medir y registrar la holgura de acoplamiento de la corona hipoidal. Esta inspección se hace en tres posiciones en la corona.

Esto te ayuda a remontar la pareja corona y Piñón correctamente.

1. Giramos el diferencial en el soporte para tener acceso a los dientes de la corona helicoidal.

- Se instala un reloj comparador sobre la brida del diferencial. Colocamos la punta del comparador contra el lado de marcha adelante de un diente de la corona helicoidal.

Ajustar el reloj comparador en CERO



**Figura 111.** Medición y ajuste del diferencial. (Meritor, 2013)

- Se lee el reloj comparador mientras movemos la corona helicoidal ligeramente en ambas direcciones. Cuando se gira la corona hipoidal para medir la holgura de acoplamiento/ engrane, el piñón hipoidal no debe moverse. Se registra la lectura del reloj comparador.
- Se repite el procedimiento en los otros lugares en la corona hipoidal. Si la menor de las tres medidas no está entre 0,008 a 0,018" (0,20 a 0,46mm) para Serie 145 o superior de 0,010" a 0,020" (0,25 a 0,51mm) para Serie 160, se debe reemplazar el conjunto de la pareja corona y piñón hipoidal.

#### 4.6.2.7 Diagnóstico de mandos finales.



**Figura 112.** Carcaza y arandelas del mando final. (Autores, 2015)

En este punto sabemos que en general se puede decir que existen muchas causas de desgaste en los rodamientos y piñones de los mandos finales y que tienen relación directa con el lubricante y causas ajenas a la lubricación.

Por lo anterior mencionamos las fallas más asiduas por efectos de la lubricación y que son:

- Desintegración de la estructura de grasa, debido a la agitación fuerte o al calor, lo cual causa la separación del aceite y el jabón.
- La oxidación del lubricante, que ocasiona depósitos gomosos, los cuales interfieren en el funcionamiento suave del conjunto de engranajes.

Se verifico que en estos mecanismos se presentan muchas cargas de compresión elevadas y vibraciones que causan cargas intermitentes altas, que hacen las veces de golpe de martillo. Entonces la superficie de los dientes puede laminarse o descamarse. Esta falla suele presentarse con un flujo severo de material superficial, que resulta en la formación de rebordes de altura irregular en las puntas de los dientes.

Estas fallas se evidencian visualmente al inspeccionar los conjuntos planetarios desarmados.



**Figura 113.** Imagen de conjunto del mando final. (Finning, 2006)

También se presentan interferencias en los piñones debido a un engrane inadecuado de los dientes al comienzo y al final del contacto, se puede evidenciar en la raíz y en la punta del diente se pueden apreciar señales de metal removido.

Esta falla puede ser un problema de diseño o de un *backlash* menor que el especificado por el fabricante de la máquina.

También estos engranajes están sometidos a desgaste corrosivo que ocurre por acción química sobre la superficie metálica de los dientes. Estas se pueden ver en una serie de porosidades muy pequeñas distribuidas uniformemente sobre la superficie de trabajo de los engranajes.

Este desgaste se debe a los ácidos presentes en un aceite oxidado o a la acción corrosiva del vapor de agua con la mayoría de los aditivos de extrema presión.

A veces también se pueden evidenciar roturas de dientes que suelen ser el resultado de roturas por fatiga, debido a la repetición de la carga o revoluciones de ciclos. Cuando se rompen los dientes por fatiga se puede ver un punto focal donde inicia la fractura.

A veces una raya o una talladura en la raíz coinciden con ese punto focal.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 088
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

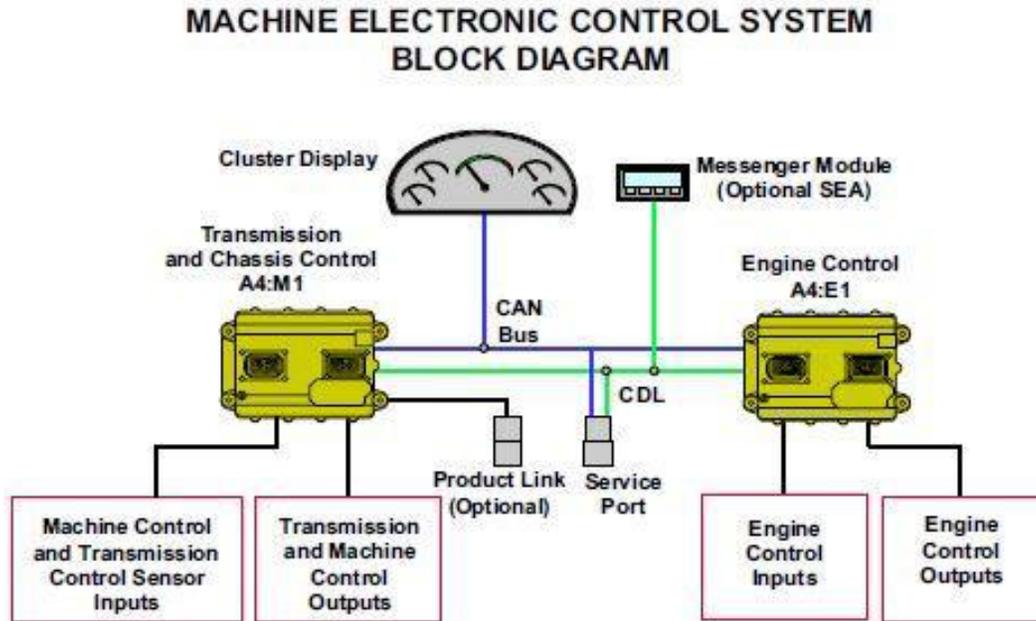
Esta falla se puede ver por la presencia de curvas semi-elípticas, con marcas perpendiculares en la superficie de la fractura.

Aunque los engranajes pertenecen a un proceso tribológico, y por lo tanto deben haber sido bien diseñados, fabricados, montados y lubricados pueden fallar durante su operación. Sin embargo esto puede ser normal si se consideran los millones de veces que engranan sin que se presenten complicaciones durante toda la vida de servicio en las máquinas de las cuales hacen parte. (Albarracín, 2000)

**4.7 Mantenimiento Predictivo** En este punto recomendamos que para aplicar un apropiado mantenimiento predictivo del diferencial, se puede acudir al sistema de monitor de electrónico que como lo vimos en la transmisión, este puede vigilar y sensar la temperatura de operación y la presión de los frenos.

Cualquier anomalía referente a la temperatura de operación y acoplamiento del sistema de diferenciales y tracción, será advertida por el control electrónico de la máquina. Aunque a la hora de vibraciones o ruidos excesivos en el funcionamiento, casi siempre se pueden analizar mediante el oído humano en condiciones de operación en vacío o a carga plena.

La experiencia del operador y el conocimiento de la máquina es vital para definir las fallas de la máquina, aunque cualquier falla que advierta el monitor electrónico avisara que la máquina debe parar y ser reparada. (Autores, 2015)



**Figura 114.** Diagrama del control electrónico. Fuente: (Finning, 2006)

Como se muestra en la figura 114, el análisis de fallas y vigilancia de los diferentes sistemas de la máquina es efectuado por un sistema de monitoreo continuo que puede sentir la presión, temperatura y velocidad de los mecanismos y componentes principales del Camión minero.

Este sistema es de gran ayuda en la recopilación de datos y diagnóstico del funcionamiento de la máquina.

#### **4.8 Análisis de viabilidad financiera por costos de operación y mantenimiento**

**4.8.1 Prueba piloto.** Para realizar el estudio del comportamiento en costos en productividad y mantenimiento en los camiones mineros subterráneos, se tomó como referencia un camión minero Normet 1060 D que se utiliza en la construcción de un túnel en la central hidroeléctrica de Anserma caldas.

Todos los datos que obtuvimos, fueron diligenciados en tablas de excel para verificar sus costos y tiempos requeridos para mantenimiento.

El rendimiento productivo del equipo se toma midiendo el numero de paradas para mantenimiento en un lapzo de 300 horas en el caso de el mantenimiento para el motor diesel y de lapzos de cada 5000 horas en el mantenimiento programado para las diferenciales de potencia. (Autores, 2015)

Hacer que sea eficiente el mantenimiento en una empresa a través de una filosofía de trabajo que facilite mejorar los procesos, alargar la vida útil de los equipos, reducir las fallas, disminuir los tiempos de reparación, optimizar la seguridad y operación de los equipos, y sobre todo, una reducción significativa de los costos de producción y mantenimiento, es la misión primordial de una gerencia de mantenimiento recursiva y con nuevas estrategias de planeación.

Durante el desarrollo de la industria a través del tiempo, se han hecho mucho énfasis en la planificación, programación y control de las paradas de los equipos de producción. Es relevante señalar que todo proyecto de mantenimiento debe ir acompañado de una planificación de negocio donde la visión, objetivos, estrategias y las expectativas de la empresa se reflejen en retorno sobre la inversión.

El aspecto a tomar en cuenta en los proyectos de mantenimiento correctivo de los camiones mineros es tener una visión y misión del plan estratégico de inversión. El diseño de este plan lo influncian factores internos y externos que los equipos naturales de trabajo deben tomar en cuenta, tales como aspectos comerciales y financieros de la empresa, los compromisos con los clientes, las proyecciones de flujo de caja y la flexibilidad requerida en cuanto a la fecha de ejecución y duración de la parada.

En los proyectos de intervención de los equipos y paradas de producción, la mayor demanda de los recursos llega cuando un equipo es parado por un largo periodo de tiempo, lo que implicará crear un horario o programa de mantenimiento. Por norma general, una larga lista de trabajo se planifica en un período de tiempo.

El plan de actividades debe ser modificado. Se deben contratar equipos especiales para cubrir los trabajos adicionales requeridos y las necesidades especiales en cada programación del mantenimiento.

Basados en todos estos aspectos económicos y financieros, nos hemos dado a la tarea de realizar algunos cálculos en Excel para demostrar los costos y ahorros generados con el diseño del nuevo plan de mantenimiento y tribología y la utilización del nuevo aceite a base de boratos.

**4.8.2 Análisis de costos en mantenimiento del motor diesel.** En la tabla 11 encontramos información comparativa sobre los costos actuales del aceite TDX SAE 15W40 que venía utilizando hace 5 meses, y el nuevo aceite para motor Diesel DELO 400 MGX 15W40 que nos ofrece una vida útil más prolongada y por lo tanto minimiza las frecuencias de mantenimiento. Resultados obtenidos aplicación de Aceite DELO GEAR en motor en 2160 horas de trabajo (3 Meses).

**Tabla 11.** Cálculo de costos en insumos e intervenciones de mantenimiento

Costos		Aceite Chevron Ursa Premium TDX SAE 15W 40 API CI - 4			
Detalle	Precio Unitario	Cantidad necesaria para cada intervención	Duración de una intervención	Costos total cambio de aceite horas de trabajo estimadas	Precio / hora
Aceite (Galones)	\$ 23.630	6	300	\$ 1.039.720	\$ 481,4
Filtro (Unidad)	\$ 15.000	1	300	\$ 120.000	\$ 55,6
Intervención (unidad)	\$ 26.500	1	300	\$ 212.000	\$ 98,1
<b>Total</b>				<b>\$ 1.371.720</b>	<b>\$ 635,1</b>

Costos		DeLo 400 MGX SAE 15W 40 API CJ - 4				
Detalle	Precio Unitario	Cantidad necesaria para cada intervención	Duración de una intervención	Costos total cambio de aceite horas de trabajo estimadas	Precio / hora	Ahorro
Aceite (Galones)	\$ 30.369	6	600	\$ 668.118	\$ 309,3	\$ 371.602
Filtro (Unidad)	\$ 15.000	1	600	\$ 60.000	\$ 27,8	\$ 60.000
Intervención (unidad)	\$ 26.500	1	600	\$ 106.000	\$ 49,1	\$ 106.000
<b>Total</b>				<b>\$ 834.118</b>	<b>\$ 386,2</b>	<b>\$ 537.602</b>

	Valor Hora	Horas contratadas	Valor Total
Aceite Chevron Multigear Lubricante EP SAE 85W 140 API GL - 5	\$ 86.900	2160	\$ 189.075.720
DeLo Gear ESI SAE 85W 140 API GL - 5	\$ 86.900	2160	\$ 188.538.118

Fuente: (Autores, 2015)

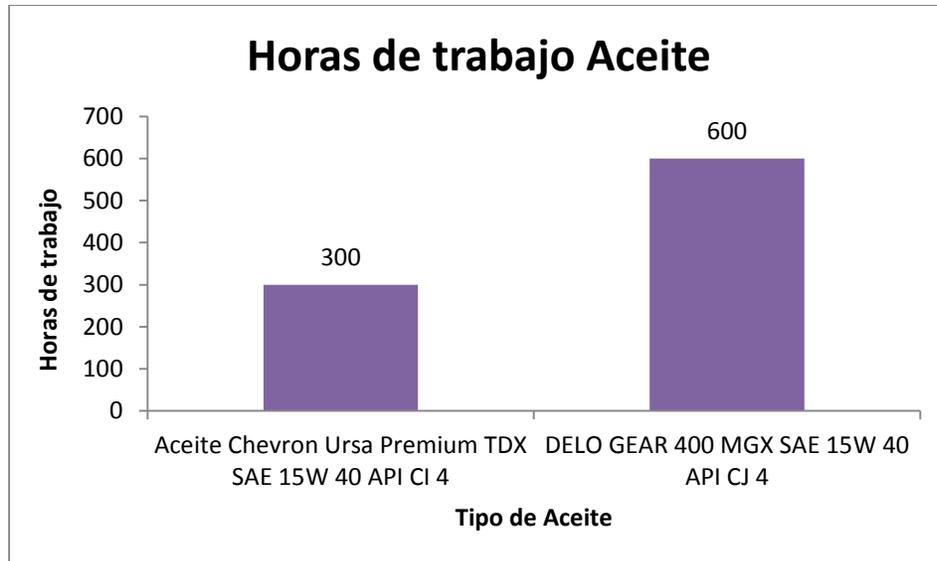
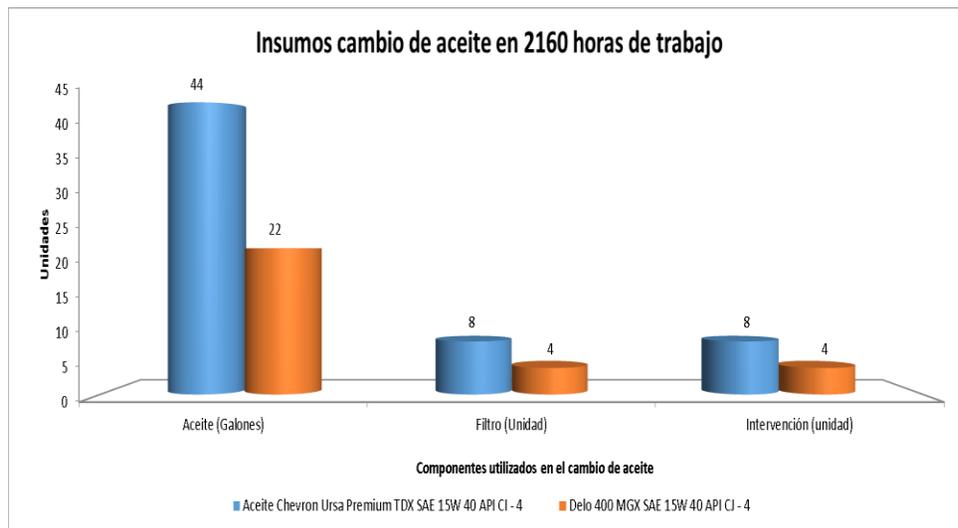


Gráfico 1. Comparativo de horas de trabajo de cada aceite.

Fuente: (Autores, 2015)

El Gráfico 1 muestra una comparación entre las horas de trabajo de los dos tipos de aceite utilizados para el estudio, el aceite DELO GEAR 400 MGX SAE 15 W 40 PI CJ 4 es claramente superior al CHEVRON URSA PREMIUM TDX SAE 15 W40 API CI 4, debido a los componentes de boratos de su fórmula que nos permiten minimizar el desgaste y la fricción y mejorar la lubricación , teniendo en cuenta que el análisis se presenta durante tres meses de trabajo este permitirá alargar en el doble del tiempo los cambios de aceite, disminuyendo los periodos en horas por cambio de aceite y haciendo más operativa la maquinaria.



**Gráfico 2.** Comparativo de cantidad de insumos utilizados con cada aceite

Fuente: (Autores, 2015)

La grafica nos muestra un comparativo de los insumos que hacen parte de un cambio de aceite, es claramente visible que el aceite DELO GEAR 400 MGX SAE 15 W 40 PI CJ 4, reduce al 50% la demanda de insumos para 3 meses de trabajo (2160 horas) debido a que su vida útil es superior en 300 horas al aceite CHEVRON URSA PREMIUM TDX SAE 15 W40 API CI 4, esta reducción no interfiere en el desempeño de la maquinaria.

Los insumos que hacen parte del mantenimiento además de utilizar el aceite y los filtros de lubricación de cada componente, también requiere cambiar los filtros de aire

admisión, combustible y refrigerante; todos estos componentes nos resultan en más costos para cada mantenimiento preventivo; esto significa que dichos componentes deben ser cambiados cada 300 horas debido a que no pueden trabajar con las mismas especificaciones del lubricante.

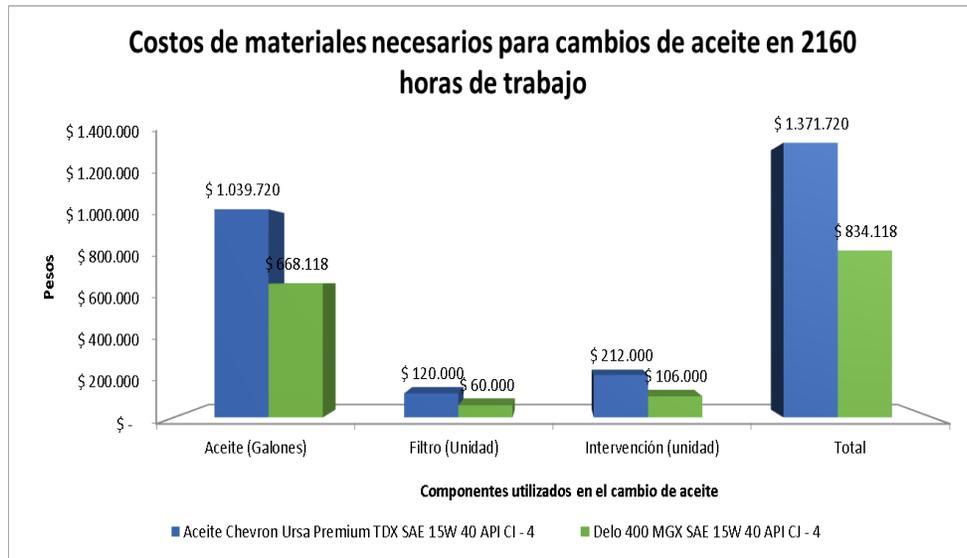
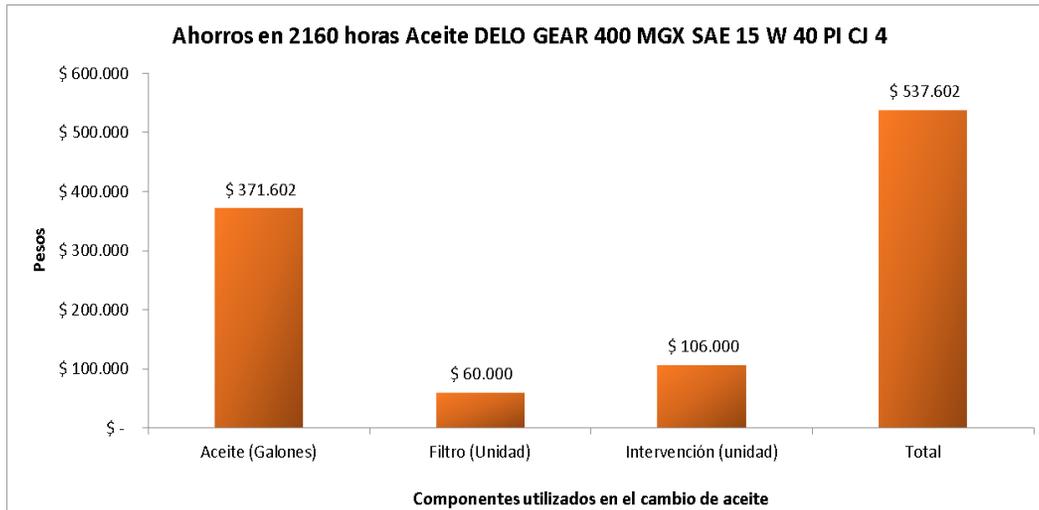


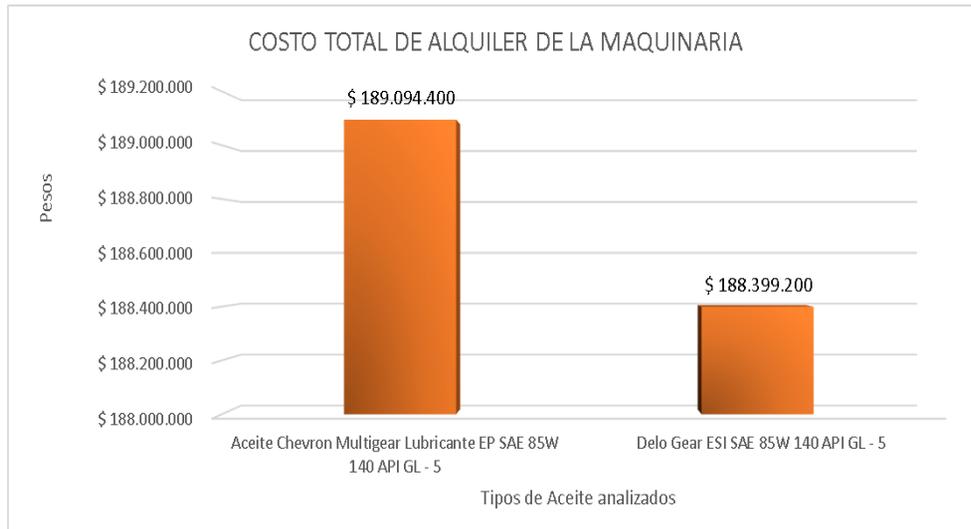
Gráfico 3. Comparativos en costos de materiales utilizados con la aplicación de los dos aceites. Fuente: (Autores, 2015)

Aunque el valor por galón del aceite DELO GEAR 400 MGX SAE 15 W 40 PI CJ 4 es superior, analizando su costo en tres meses de trabajo, su implementación reduce los costos totales de cada uno de los implementos que intervienen en un cambio de aceite.



**Gráfico 4.** Ahorros en costos por hora de operación con aceite delo GEAR 400 MGX SAE 15W40 Fuente: (Autores, 2015)

**4.8.3 Análisis de costos en mantenimiento de diferenciales.** La implementación del Aceite DELO GEAR 400 MGX SAE 15 W 40 PI CJ 4, en 2160 horas de trabajo (3 meses), genera un ahorro de \$537.602, este se debe a la mayor resistencia que tiene el aceite, lo que puede extender en 300 horas el cambio de aceite, consumiendo menos galones de aceite, filtros y requiriendo menos intervenciones.



**Gráfico 5.** Comparativo de costos en 3 meses de operación con ambos aceites para diferenciales. Fuente: (Autores, 2015)

Teniendo en cuenta que la cada camión minero tiene un valor de operación de \$86.900 por hora, se realiza la gráfica con bases en datos sobre las horas que dura una intervención en cada mantenimiento y comprobar que la implementación del aceite DELO GEAR 400 MGX SAE 15 W 40 PI CJ 4, reduce las intervenciones por cambio de aceite en un 50%, permite reducir el valor total de las horas contratadas; además el grafico muestra el valor de las horas de trabajo del Camión minero Subterráneo en tres meses de trabajo y que la implementación del aceite DELO GEAR 400 MGX SAE 15 W 40 PI CJ 4, en los motores genera un ahorro de \$695.200 por unidad .

Este valor de ahorro en mantenimiento en aceite y filtros, solo aplica para el mantenimiento del motor, donde se deben aplicar más intervenciones en mantenimiento preventivo, ya que este aceite se debe cambiar cada 600 horas y no permite extenderse en la misma proporción del aceite para diferenciales que tiene un promedio de vida útil de 5000 horas.

Ahora en la siguiente grafica se propone el análisis de costos que nos describen la utilización de los aceites Chevron Multigear EP SAE 85W140 API GL5 y el DELO Gear

ESI SAE 85W/140 API GL5 durante un periodo de trabajo de 5000 horas que nos ofrece el nuevo lubricante.

**Tabla 12.** Resultados obtenidos aplicación de Aceite DELO GEAR en diferencial en 5000 horas de trabajo.

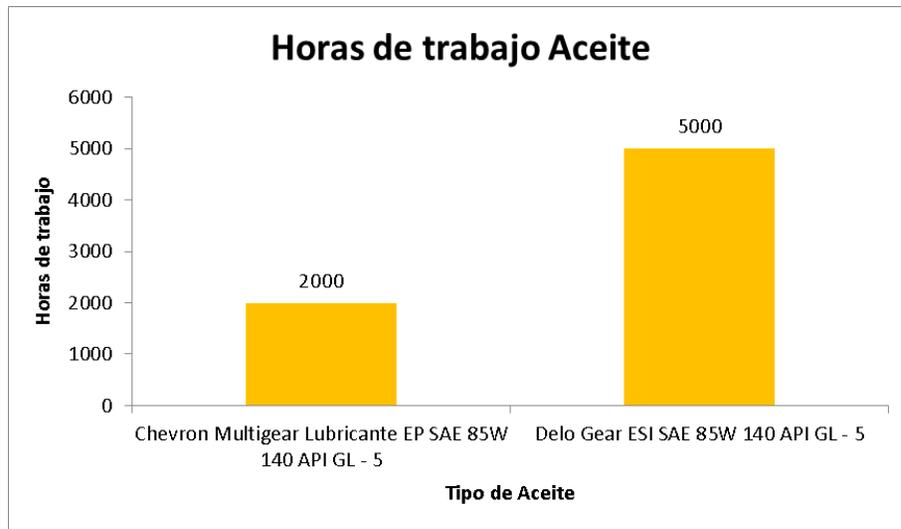
Costos	Aceite Chevron Multigear Lubricante EP SAE 85W 140 API GL - 5					
	Detalle	Precio Unitario	Cantidad necesaria para cada intervención	Duración de una intervención	Costos total cambio de aceite horas de trabajo estimadas	Precio / hora
	Aceite (Galones)	\$ 20.312	8	2000	\$ 406.240	\$ 81,2
	Filtro (Unidad)	\$ 18.500	1	2000	\$ 55.500	\$ 11,1
	Intervención (unidad)	\$ 26.500	1	2000	\$ 79.500	\$ 15,9
	Total				\$ 541.240	\$ 108,2

Costos	Delo Gear ESI SAE 85W 140 API GL - 5						
	Detalle	Precio Unitario	Cantidad necesaria para cada intervención	Duración de una intervención	Costos total cambio de aceite horas de trabajo estimadas	Precio / hora	Ahorro
	Aceite (Galones)	\$ 33.425	8	5000	\$ 267.400	\$ 53,5	\$ 138.840
	Filtro (Unidad)	\$ 18.500	1	5000	\$ 18.500	\$ 3,7	\$ 37.000
	Intervención (unidad)	\$ 26.500	1	5000	\$ 26.500	\$ 5,3	\$ 53.000
	Total				\$ 312.400	\$ 62,5	\$ 228.840

	Valor Hora	Horas contratadas	Valor Total
Aceite Chevron Multigear Lubricante EP SAE 85W 140 API GL - 5	\$ 86.900	5000	\$ 435.041.240
Delo Gear ESI SAE 85W 140 API GL - 5	\$ 86.900	5000	\$ 434.812.400

En la gráfica 6 se pueden analizar que los dos aceites nos ofrecen un periodo de vida útil distinta; el primero de 2000 horas y el nuevo de 5000 horas. Entonces se puede verificar que si el mantenimiento preventivo para diferenciales fuera programado cada 2000 horas, este exigiría más tiempo en intervenciones, costos por cambio de filtro, y número de horas en paradas de producción. Entonces vemos como el nuevo aceite Delo

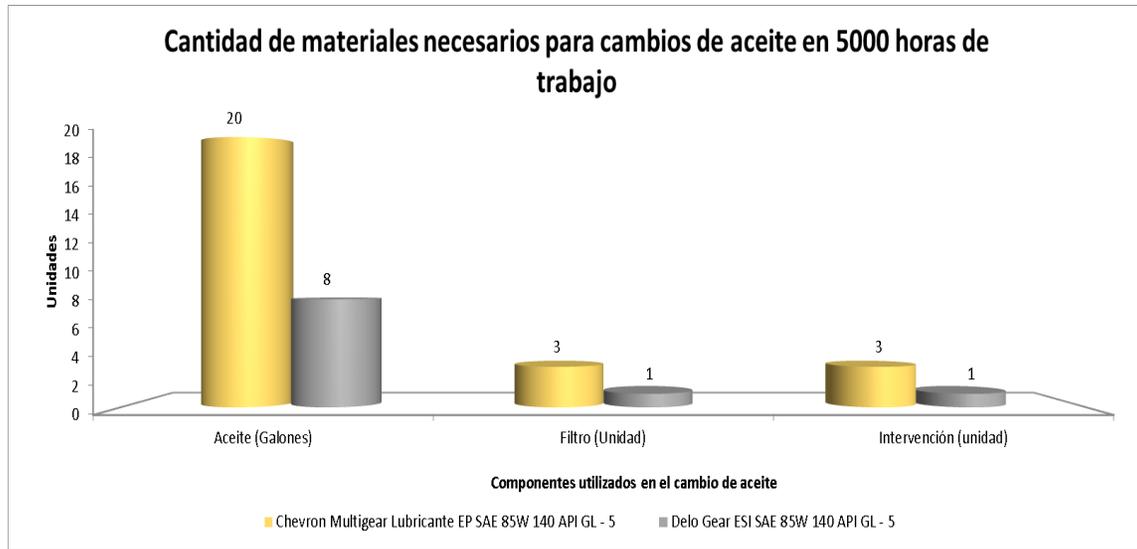
a base de boratos nos ofrece además de una excelente lubricación; un ahorro considerable en costos de lubricantes, filtros, horas de intervención y número de paradas de producción. Esto nos indica pues que los resultados financieros se ven reflejados en un plazo de 5000 horas y nos ayudan a mejorar la productividad del camión minero en obra.



**Gráfico 6.** Comparativo horas de trabajo de aceites para diferencial

Fuente: (Autores, 2015)

En la gráfica 7 se realiza una comparación entre las horas de trabajo de los dos tipos de aceite utilizados para el estudio, el aceite Delo Gear ESI SAE 85W 140 API GL – 5 y el nuevo aceite Chevron Multi Gear Lubricante EP SAE 85W 140 API GL - 5, que debido a los componentes de su fórmula, y teniendo en cuenta que el análisis se presenta durante 5000 horas de trabajo este permitirá alargar los cambios de aceite y los periodos en horas de trabajo.

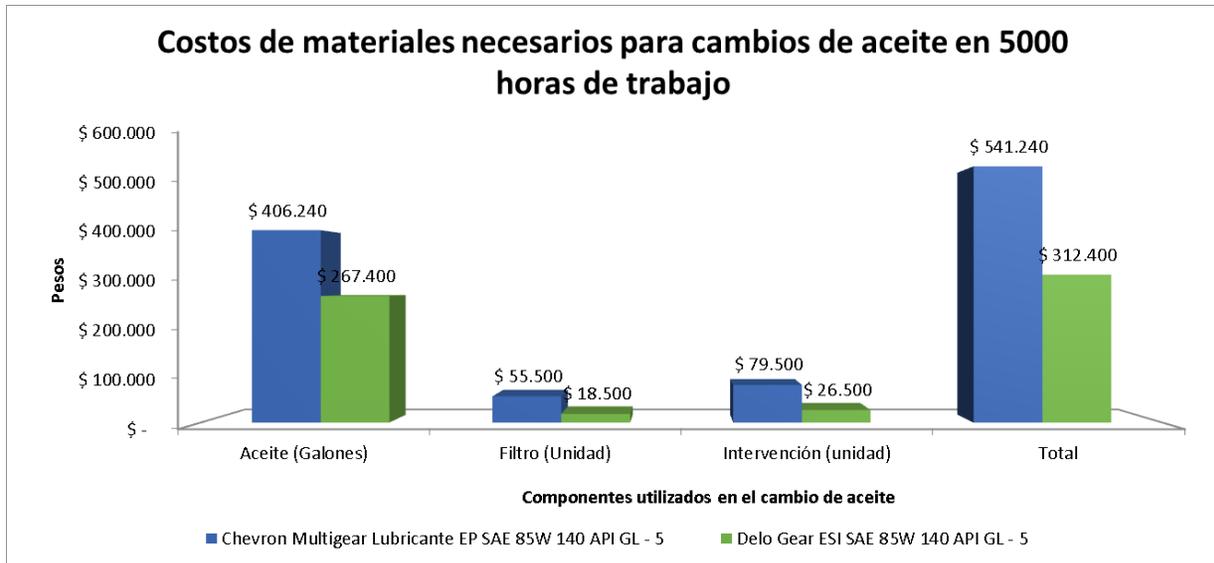


**Gráfico 7.** Cantidad de materiales utilizados en cada cambio de aceite

Fuente: (Autores, 2015)

La grafica 8 muestra un comparativo de los insumos básicos que hacen parte de un cambio de aceite, es claramente visible que el aceite Delo Gear ESI SAE 85W 140 API GL – 5, reduce al 50% la demanda de insumos para 5000 horas de trabajo debido a que su vida útil es superior en 3000 horas comparado con el aceite Chevron Multi Gear EP SAE 85W 140 API GL - 5, esta reducción no interfiere negativamente en el desempeño de los camiones mineros subterráneos.

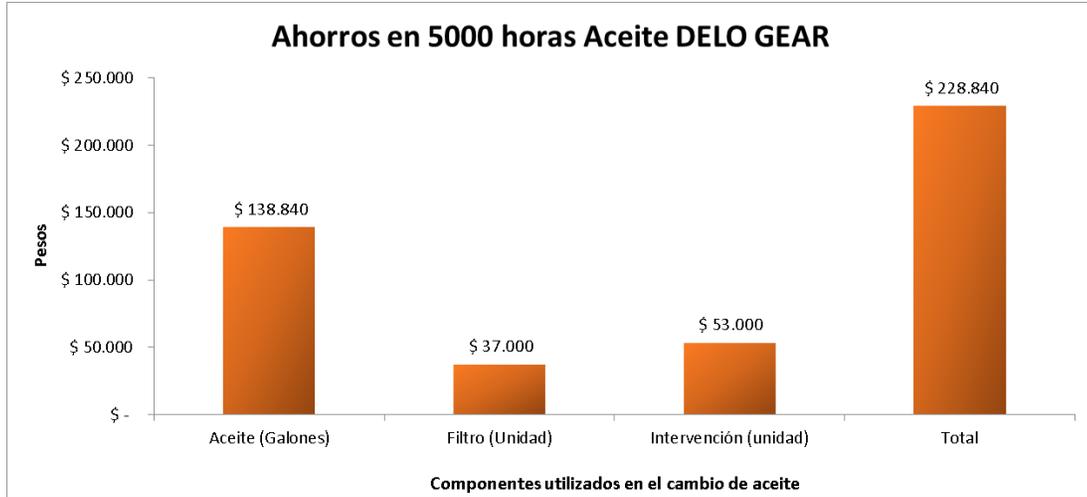
Los materiales que se deben utilizar básicamente en un mantenimiento preventivo como los filtros y los aceites lubricantes, implican también el requerimiento de una adecuada disposición final, ya que estos después de utilizados se deben manejar y almacenar en lugares adecuados para el buen manejo de residuos; esto implica un sistema de recolección y transporte de residuos que implica más costos. Con todo esto queremos resaltar la importancia de alargar la vida de los lubricantes, ya que se van generar menos residuos de filtros y lubricantes y además menos contaminación ambiental.



**Gráfico 8.** Costos de materiales utilizados en cada cambio de aceite

Fuente: (Autores, 2015)

Aunque el valor por galón del aceite Gear ESI SAE 85W 140 API GL – 5 es superior, analizando su costo en 5000 horas de trabajo su valor total es menor. Su implementación reduce los costos totales de cada uno de los implementos que intervienen en un cambio de aceite ya que alarga la intervención en 3000 horas.



**Gráfico 9.** Resultado de ahorros del aceite DELO GEAR en 5000 horas

Fuente: (Autores, 2015)

La implementación del Aceite Gear ESI SAE 85W 140 API GL – 5, en 5000 horas de trabajo genera un ahorro de \$228.840, esta característica del lubricante y fue descrita anteriormente debido a que ofrece unas propiedades antidesgaste y antifricción por poseer adictivos a base de boratos en el aceite, por lo que puede extender en 3000 horas el cambio de aceite para las diferenciales, consumiendo menos galones de aceite, filtros y requiriendo menos intervenciones.



**Gráfico 10.** Comparativo de costos de producción con la utilización de cada aceite en 5000 horas

Fuente: (Autores, 2015)

Teniendo en cuenta que cada hora de operación de un Camión minero subterráneo tiene un valor de \$86.900 y que la implementación del aceite Delo Gear ESI SAE 85W 140 API GL – 5, reduce las intervenciones por cambio de aceite en más de un 50%, entonces se evidencia que su utilización permite reducir el valor total de las horas de operación. El grafico muestra el valor por hora en 5000 horas de trabajo, con la nueva implementación del aceite DELO Gear ESI SAE 85W 140 API GL – 5, en los diferenciales genera un ahorro de \$347.600 por cada hora de trabajo.

## 5. Conclusiones, recomendaciones y trabajo futuro

### 5.1 Conclusiones

- Los camiones mineros subterráneos son equipos de gran importancia en la construcción de túneles para minería y obras de infraestructura vial y energética, ya que estos permiten el acarreo y disposición final de los materiales extraídos en la perforación y movimientos de roca y tierra a nivel Subterráneo, por lo anterior se diseña un plan tribológico y lubricación que nos ofrece un alto ahorro de costos en el mantenimiento preventivo, minimiza costos en insumos y lo más importante mejora las horas de productividad de la maquina al extender las frecuencias del mantenimiento y la vida útil del aceite.
- La programación del mantenimiento por horometro en los camiones mineros, nos permite verificar los costos de mantenimiento y ejecutar las actividades de mantenimiento en forma organizada y acertada para cada equipo.
- Los datos recopilados en el plan tribológico y de lubricación que diseñamos, nos ayuda a comprender mejor el comportamiento financiero y de gastos en los mantenimientos preventivos y correctivos de los camiones mineros subterráneos.
- La prueba piloto realizada al camión minero subterráneo nos permite visualizar desde el punto de vista de costos que dicho programa tribológico y el uso de aceite a base de boratos nos ayudan a medir el tiempo productivo e improductivo y nos demuestra ahorros considerables en plazos de tres meses.
- El conocimiento y comprensión de conceptos sobre tribología y lubricación aplicada a la industria de maquinaria pesada, nos permite visualizar mejor las posibles fallas y soluciones que se pueden generar en el desarrollo de los tipos de mantenimientos aplicados en dichos equipos y la implementación de mejoras continuas a estos.
- Los equipos pesados de minería y construcción, están sometidos a trabajar en ambientes contaminados, bajo temperaturas extremas y condiciones atmosféricas hostiles que generan desgastes acelerados en sus componentes si no se aplican mantenimientos adecuados.
- La gestión y desarrollo de un buen plan de mantenimiento basado en investigaciones sobre tribología y lubricación nos permite visualizar los

comportamientos de los materiales y los lubricantes y así definir un diseño y ejecución de actividades relativas al mantenimiento que nos aseguren una óptima operación de los equipos y por consiguiente ahorros en costos de reparaciones e insumos generados para evitar de las fallas súbitas en las maquinas.

- En el diseño de un plan de mantenimiento eficaz se deben tener en cuenta las especificaciones y recomendaciones de los fabricantes de cada equipo, además de conocer los lubricantes aplicados a cada componente de la máquina, frecuencia de mantenimiento, condiciones de trabajo del equipo y viabilidad financiera para la aplicación de dicho plan.
- Teniendo en cuenta los análisis de resultados de los cálculos y tablas comparativas diseñadas en el software Excel, podemos evidenciar que la utilización del aceite DELO GEAR ESI SAE 85W140 API GL-5 para diferenciales y aceite DELO 400 MGX SAE 15W40 API CJ-4 para motor diesel, nos ofrecen ahorros por más del 50% en costos, frecuencias de mantenimiento, utilización de insumos y personal técnico, además de prolongar las intervenciones y paradas de producción de dichos equipos.

## 5.2 Recomendaciones y trabajo futuro

Para cualquier actividad de mantenimiento y predictivo es importante el análisis de muestras de aceite usado en laboratorio y a que esta información nos ayuda a detectar anomalías de los lubricantes y de los componentes internos de transmisión mecánica. Por lo anterior se recomienda realizar un buen análisis de aceite en campo de operación de los equipos y en la medida de lo posible en los tiempos programados con frecuencias de cada 300 horas. Si no se puede realizar con esta programación los datos serán alterados porque el aceite no cumplirá con las especificaciones que requiere el fabricante y además no se observaran los datos reales de cada análisis.

En el futuro se debe realizar continuamente el análisis de aceite a cada lubricante del camión minero subterráneo para verificar desgastes prematuros y problemas de lubricación, pero ajustados a un cronograma financiero de costos para verificar si realmente la relación costos-beneficios afecta positiva o negativamente el presupuesto de la empresa.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 088
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

En conclusión, aunque no se pudo realizar el programa tribológico y de lubricación en base a los datos analizados por muestra de aceite y la inconformidad en los periodos de producción del camión minero, se aconseja realizar dichas muestras de aceite para analizar el comportamiento del nuevo aceite a base de boratos en los sistemas de lubricación del motor y de diferenciales de potencia.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 088
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

### Referencias Bibliográficas

- Albarracin, A. P. (2000). Analisis de aceite,un instrumento valioso en el mantenimiento preventivo. En A. A. Ramon, *Tribologia y Lubricacion Industrial y Automotriz* (págs. 201-280). Medellin: Litochoa.
- Albarracin, A. P. (2000). Lubricantes sinteticos. En A. P. Albarracin, *Tribologia y lubricacion Industrial y automotriz* (págs. 164-182). Medellin: Litochoa.
- Albarracin, A. P. (2000). Ptopiedades fisco-quimicas de los lubricantes. En A. P. Albarracin, *Tribologia y lubricacion Industrial y automotriz* (págs. 183-197). Medellin: Litochoa.
- Arboleda, J. C. (12 de Noviembre de 2015). Mantenimiento Programado de Maquinaria Pesada. (E. P. Carvalho, Entrevistador)
- Atlas Copco. (17 de Diciembre de 2014). *www.atlascopco.com*. Obtenido de <http://www.atlascopco.com/us/system/splash.aspx>:  
<http://www.atlascopcogroup.com/>
- Autores. (2015).
- Autores. (15 de SEPTIEMBRE de 2015). Medellin.
- Caterpillar. (2012). Desarmado y armado de transmisiones. En Caterpillar, *Manua de Servicio y Taller para Camiones Articulados 730 Cat* (págs. 11 - 20). Peoria, Illinois: Caterpillar.
- Caterpillar. (21 de Octubre de 2015). <https://sis.cat.com>. Obtenido de <https://sis.cat.com/sisweb/servlet/cat.cis.sis>: Caterpillar Inc
- Cuesta, F. D. (2003). Motor diesel y embrague. En F. D. Cuesta, *Camiones y vehiculos pesdos* (págs. 91-137). Madrid, España: Cultural, S.A.
- Cuesta, F. D. (2003). Transmision, Chasis, equipo electrico. En F. D. Cuesta, *Camiones y vehiculos pesados* (págs. 86-109). Madrid, España: Cultural S.A.
- Donaldson. (12 de Agosto de 2015). *www.widman.biz*. Obtenido de Widman International SRL, Santa Cruz - Bolivia: <http://www.widman.biz/>
- Eco-Question.com. (16 de Agosto de 2015). *www.eco-question.com*. Obtenido de <http://www.eco-question.com/proven-methods-to-compose-an-essay-with>: 2010 Eco-Question.com

- Esquius, D. J. (1999). Funcionamiento del motor diesel. En *El motor diesel* (págs. 18-57). Barcelona España: CEAC.
- Ferreyros Caterpillar. (11 de Octubre de 2005). Capacitacion en Trenes de fuerza y sistemas de potencia Caterpillar. Santiago, Cordillera, Chile.
- Finning. (8 de Septiembre de 2006). Finning, cat Capacitacion Finsa Mantenimiento de Camiones mineros Articulados 730 Cat. Santiago de Chile, Maipo, Chile.
- Hobson, P. D. (2002). Tipos de lubricantes y sus utilizaciones. En P. D. Hobson, *Practica de la lubricacion Industrial* (págs. 18-57). Madrid españa: Interciencia.
- Inautonews. (3 de Julio de 2015). [www.inautonews.com](http://www.inautonews.com). Obtenido de <http://www.inautonews.com/#>: <http://www.inautonews.com/>
- Instituto Americano del Petróleo. (10 de Mayo de 2012). Sistema de Certificación y Licencia de Aceites para Motor. 1220 L Street, NW, Washington, DC 20005-4070, EE.UU.
- Mantenimiento., T. d. (15 de Agosto de 2015). Visita taller Central Estyma. (e. autor, Entrevistador)
- May, E. (1998). El motor diesel. En E. May, *Mecanica para motores diesel Tomo I* (págs. 2-89). Mexico: McGraw-Hill Interamericana de Mexico.
- Meritor. (18 de Octubre de 2013). Manual de mantenimiento de Transmisiones y diferenciales de potencia. Indiana, Indianapolis, USA.
- Navistar. (20 de Septiembre de 2015). <http://www.internationaltrucks.com/>). Obtenido de <http://www.internationaltrucks.com/trucks/>: <http://www.internationaltrucks.com/trucks/>
- Normet . (16 de Mayo de 2014). Manual de mantenimiento Camion minero Variomec 1060 D. Sajonia del norte, Lisalmi, Finlandia.
- Paz, M. A. (2004). La caja de cambios. En M. A. Paz, *Manual de automoviles* (págs. 503-507). Madrid españa: Iversiones Editoriales CIE.
- Perez, F. M. (2011). Metodos de lubricacion. En *Tribologia Integral* (págs. 34-56). Mexico D.F: Limusa.
- S.A, V. T. (2015).
- S.A, V. T. (2015).

- Santiago Ruiz Rosales, e. a. (2005). Ensayo de motor, Balance termico. En *Practicas de motores de combustion* (págs. 73-99). Valencia españa: Alfaomega grupo Editor.
- Smith, J. (18 de agosto de 2015). <http://www.conexionescat.com>. Obtenido de Caterpillar Inc.: <http://www.conexionescat.com>
- Victor, R. (12 de septiembre de 2015). *Termodinamica* S.A. Obtenido de [servicios@termodinamica.com.pe](mailto:servicios@termodinamica.com.pe): [mpaz@termodinamica.com.pe](mailto:mpaz@termodinamica.com.pe)
- Volvo Equipment. (21 de noviembre de 2014). [www.volvoce.com](http://www.volvoce.com). Obtenido de <http://www.volvoce.com/dealers/br-es/Chaneme/Pages/introduction.aspx>: <http://www.volvoce.com/construccionequipment/brazil/br-es/Pages/BAHome.aspx>
- [www.maquinariaspesadas.org](http://www.maquinariaspesadas.org). (4 de Noviembre de 2015). *Maquinarias Pesadas Online*. Obtenido de [www.maquinariaspesadas.org/](http://www.maquinariaspesadas.org/): <http://www.maquinariaspesadas.org/>
- Yongjian Gaoa et al, Y. J. (2002). Tribological properties of aqueous solution of imidazoline borates. *Elsevier*, 576–578.
- Zhenglin Tang et al, S. L. (22 de Febrero de 2014). A review of recent developments of friction modifiers for liquid. *Elsevier*, 1333-1338.

## Apéndice

### Apéndice A

#### Formatos de verificación y control de actividades de mantenimiento

Para tener un mejor control de las actividades de mantenimiento y reparación de cada equipo, hemos sugerido aplicar algunos formatos diligenciables por cada técnico involucrado en el mantenimiento y reparación de estos equipos para poder medir y controlar tiempos y costos de las intervenciones en reparaciones y mantenimiento.

El diligenciar estos formatos nos permite también obtener un historial de cada equipo y cuánto tiempo ha estado presentando fallas, ya sean nuevas o persistentes.

Para corregir muchos defectos o fallas en los equipos es indispensable llevar un archivo ya sea escrito o sistematizado que es más eficiente y así verificar muchas de las fallas y poder cambiar procedimientos o repuestos no compatibles con los mecanismos de la máquina.

También es importante realizar informes detallados de las actividades realizadas en cada equipo para tener soportes escritos de cada gasto o costos de mantenimiento ante la gerencia u otros organismos de control financiero dentro las empresas.



En este formato podemos verificar el nombre del técnico que atenderá el equipo, los componentes involucrados en la falla y cuanto es el tiempo aproximado en la ejecución de cada tarea. Con esta información podemos tener control sobre la eficiencia del personal de mantenimiento y si realmente se cumplen los requerimientos exigidos en la gestión del mantenimiento.

En el siguiente formato de mantenimiento predictivo realizado, podemos verificar las tareas de mantenimiento predictivo en todos los sistemas de la máquina y verificar anomalías en cada componente.

Para poder cumplir con estas tareas de mantenimiento predictivo se debe contar con personal técnico experto que tenga conocimiento en ingles técnico, interpretación de planos hidráulicos y eléctricos y además manejen herramientas especiales de medición de temperatura, presión, voltajes, amperajes, frecuencia, etc.

Cuando se realizan mantenimientos predictivos, se requiere consultar manuales e información de los fabricantes de cada equipo para verificar los procedimientos, puntos de prueba y especificaciones de funcionamiento de cada sistema.

Cualquier tarea de mantenimiento predictivo o correctivo debe hacerse con base en información de manuales de servicio y reparación para verificar medidas, ajustes, tolerancias, herramientas necesarias y cuidados que se deben observar al realizar dichas funciones

**RESUMEN DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO REALIZADO**

<b>CÓDIGO INTERNO DEL EQUIPO</b>	<b>OBRA O FRENTE DE TRABAJO</b>	<b>FECHA</b>	<b>HORA</b>
<b>SISTEMA DEL EQUIPO</b>	<b>ANALISIS A REALIZAR</b>		
	<b>VIBRACIONES</b>	<b>TEMPERATURA DE OPERACION</b>	<b>PRESION DE OPERACION</b>
<b>TRANSMISIÓN</b>			
<b>DIFERENCIAL TRASERA</b>			
<b>DIFERENCIAL DELANTERA</b>			
<b>MANDOS FINALES TRASEROS</b>			
<b>MANDOS FINALES DELANTEROS</b>			
<b>EJE CARDAN INTERMEDIO</b>			
<b>EJE CARDÁN TRASERO</b>			
<b>OBSERVACIONES</b>			

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 088
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

En el siguiente formato de actividades de mantenimiento preventivo se requiere que sea ejecutado por personal técnico, pero no indispensablemente por personal especializado como en el caso del mantenimiento predictivo.

Dentro de las tareas de mantenimiento preventivo se describen las siguientes: cambios de aceites y fluidos de todos los sistemas de la máquina, sustitución de filtros, revisión e inspección visual de fugas y fisuras en todos los componentes etc.

El mantenimiento preventivo se basa en programaciones y frecuencias calculadas con base en el horometro de cada máquina y además con las especificaciones de uso de cada uno de los lubricantes en cada sistema del camión minero Subterráneo.



Código	FDE 088
Versión	01
Fecha	2013-09-16

**FORMATO DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

FECHA DE EJECUCION	HORA DE INICIO	HORA FINAL	ACTIVIDADES REALIZADAS	TÉCNICO	DURACIÓN DE MANTENIMIENTO	PIEZAS E INSUMOS UTILIZADOS	No. ORDEN DE TRABAJO

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 088
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

Las tareas de mantenimiento preventivo son las más importantes en el cumplimiento de la programación de mantenimiento, ya que del cumplimiento de dicho programa nos ayuda a preservar el estado de la máquina, y además nos permite verificar el estado actual de todos los mecanismos internos con la obtención de las muestras de aceite.

Podemos estar informados si se presentan desgastes prematuros o contaminación en los componentes internos de la máquina mediante el drenaje de los lubricantes.

## Apéndice B

### Resultados de muestras de aceite

La empresa Estyma S.A es una organización dedicada a actividades económicas de construcción y minería. Posee una flota de equipos y maquinaria pesada para la realización de dichas actividades de construcción y cuenta con equipos como excavadoras de orugas, tractores de cadenas, motoniveladoras, cargadores frontales, Dumper articuladas, equipos de perforación de túneles y minería y camiones mineros subterráneos.

También cuenta con instalaciones adecuadas para reparaciones de dichos equipos que se denomina centro de logística y mantenimiento, donde se ubica el taller central. Este taller cuenta con personal de Ingenieros y técnicos capacitados y certificados en el área de las reparaciones y el mantenimiento de equipo pesado.

Allí se desarrollan planes de mantenimiento e intervenciones programadas para los equipos que se ejecutan según manuales y procedimientos de los fabricantes para optimizar y mantener unos buenos resultados en el tiempo de operatividad de los equipos y manteniendo su confiabilidad para los distintos trabajos requeridos en los frentes de obra.

Estas actividades de mantenimiento son basadas en pruebas y ajustes realizados en varias formas de diagnóstico como: toma de muestras de aceite y análisis de resultados en laboratorio externo, medición de temperaturas en componentes, mediciones de presión en sistemas de hidráulico, motor Diesel y transmisión, inspecciones visuales en componentes y validación de datos según especificaciones de fabricantes de cada equipo.

En esta actividad de análisis de laboratorio de las muestras de aceite, nosotros hicimos investigaciones para comenzar con el estudio del comportamiento de los lubricantes en los sistemas del motor Diesel y diferenciales de potencia para después de analizar dichos resultados; poder implementar el programa de mantenimiento para camiones mineros subterráneos según dichos resultados.

Pero en el proceso de recopilación de datos y análisis de muestras encontramos muchos problemas con la recepción de información, debido a que estos camiones mineros no estaban trabajando continuamente debido a problemas de la obra Central

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 088
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

Hidroeléctrica en Anserma Caldas, que estuvo en paro de actividades por un mes debido a problemas de licencia ambiental y periodo de vacaciones en diciembre.

Además de estos problemas, teníamos como fecha límite para entrega del informe final, el mes de febrero, pero los periodos de mantenimiento para las diferenciales son cada 5000 horas y estas programaciones nos impedirían cumplir con el calendario propuesto, ya que este proyecto demoraría un año más debido a la programación de cambio de dicho lubricante.

Por todas estas inconformidades descritas anteriormente, decidimos de forma concertada con el asesor y el evaluador cambiar el sistema de recopilación y estudio de la aplicación del nuevo lubricante basado en costos de los insumos para cada mantenimiento, operatividad del equipo y tiempos utilizados en dichas intervenciones. Pero no podemos dejar a un lado el tema del análisis de muestras de aceite en laboratorio, ya que de esta información depende la vida útil de los equipos y sus mecanismos internos. Por todo lo anterior haremos una breve descripción de los resultados de las muestras de aceite y sus recomendaciones.

El análisis de laboratorio bien ejecutado es muy valioso en cualquier programa de mantenimiento preventivo porque permite diagnosticar y corregir fallas y anomalías en componentes mecánicos, antes de afectar a otros subcomponentes del equipo. Además permite evaluar la calidad de los aceites, resistencia de los materiales internos y repuestos, condiciones de operación y reducir los costos en lubricantes.

Es probable que una adecuada gestión de mantenimiento dependa del análisis periódico de laboratorio tanto al aceite nuevo como al usado. Esto permite visualizar que la calidad del aceite nuevo si corresponde a la recomendada por el fabricante del equipo y permite diagnosticar la protección que este le ofrece a los diferentes mecanismos, al igual que la frecuencia de cambios de aceite y filtros y mantenimiento de los equipos.



SGS Colombia  
Avenida Crisanto Luque # 44B-26  
PBX : + 57 5 669 09 10  
Cartagena - Bolívar



Usuario de web : COCHV075  
Sucursal:  
Número de Muestra : CO14487  
Fecha de muestreo : 09/02/2015  
Recibido el : 03/03/2015  
Fecha de análisis : 04/03/2015  
Número de flota/registro : TMI-10 /  
Descripción maquina : ESTYMA / DIESEL ENGINE  
Descripción componente : NO REPORTADO

OILRED S.A.  
Mr Rodrigo Montoya  
MEDELLIN  
COLOMBIE

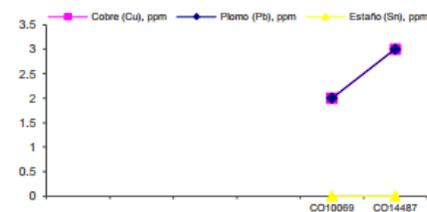
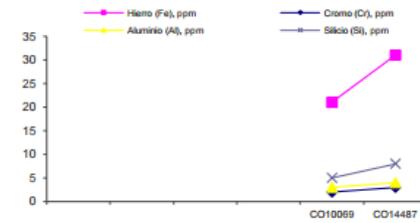
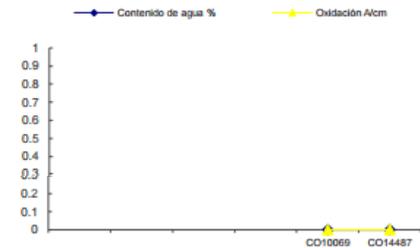
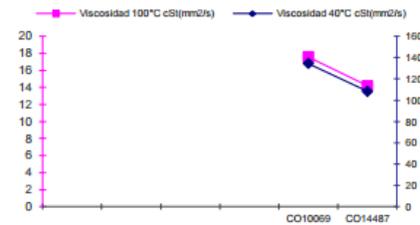


CONTACTOS

Diagnosticador: Miguel Antonio Hernandez  
Contacto : Miguel Antonio Hernandez  
Página web: <http://vernolab-tech.fr.sgs.com/>  
Email : [miguel.hernandezR@sgs.com](mailto:miguel.hernandezR@sgs.com)

RESULTADOS

Muestra N°	CO10069	CO14487
Nombre Aceite Lubricante	CHEVRON URSA PREMIUM TDX PLUS SAE15W40	
Fecha de toma de muestra	04/11/2014	09/02/2015
Equipo h	5207	5581
Aceite h	352	250
Relleno (Gal.)	0	0
<b>Análisis físico - químico</b>		
Apariencia	OSCURA	OSCURA
Viscosidad 100°C cSt	17.6	14.2
Viscosidad 40°C cSt	134.6	108.3
IV	144	133
Dilution %	0.00	0.00
Agua por IR %	0.00	0.00
Glicol %	0.00	0.00
Nitración A/0.1 mm	0.03	0.03
Oxidación A/0.1 mm	0.00	0.00
Hollin %	4.10	3.99
Sulfatación A/0.1 mm	0.09	0.09
<b>Aditivos elements</b>		
Fósforo (P) ppm	1196	1329
Zinc (Zn) ppm	1127	1350
Calcio (Ca) ppm	2871	3332
Bario (Ba) ppm	0	0
Magnesio (Mg) ppm	21	25
Boro (B) ppm	0	1
<b>Desgaste-Contaminantes</b>		
Hierro (Fe) ppm	21	31
Cromo (Cr) ppm	2	3
Aluminio (Al) ppm	3	4
Cobre (Cu) ppm	2	3
Plomo (Pb) ppm	2	3
Níquel (Ni) ppm	0	0
Vanadio (V) ppm	1	0
Estaño (Sn) ppm	0	0
Plata (Ag) ppm	0	0
Sodio (Na) ppm	2	71
Silicio (Si) ppm	5	8
Manganeso (Mn) ppm	1	1
Molibdeno (Mo) ppm	1	1
Titanio (Ti) ppm	0	0
<b>Comentarios</b>		
	Rojo	Verde



COMENTARIOS

De acuerdo con los análisis realizados, la muestra se encuentra dentro de los rangos normales para desgaste y presencia de contaminantes. Las propiedades del aceite se encuentran dentro de parámetros normales.

ATENCIÓN: Este reporte representa una guía rápida y asumimos que los comentarios e información contenida en este documento sólo tiene carácter de orientación. SGS asume que la información suministrada es representativa y que las medidas o acciones, basándose en la información contenida en este Informe RÁPIDO, recaen exclusivamente en el cliente o usuario final

En esta imagen de los resultados de análisis de laboratorio se describen los valores que arrojaron las diferentes pruebas y mediciones de desgaste y cantidad de aditivos en el aceite.

Este análisis fue realizado a un aceite para motor diesel denominado Chevron Ursa Premium TDX Plus SAE 15W40 para motor diesel y que nos permite visualizar diferentes valores en análisis físico-químico, elementos aditivos y desgaste por contaminantes. Estos análisis de laboratorio son basados en las normas ASTM (Sociedad Americana para pruebas y materiales) que han establecido una serie de normas para evaluar las propiedades físico-químicas, tanto del aceite nuevo como usado. Cada norma tiene un método estandarizado, el cual debe ser el mismo, cualquiera sea el laboratorio en donde se lleve a cabo dicho análisis. Una prueba de laboratorio no quedara bien especificada si no se tiene en cuenta el método ASTM bajo el cual se efectuó.

Para analizar los resultados obtenidos en laboratorio para el aceite utilizado en el motor Diesel, se tienen unos datos de concentración aproximada en ppm de los diferentes elementos metálicos presentes en una muestra de aceite de motor usado.

TIPO DE METAL	SIMBOLO QUIMICO	MOTOR DIESEL
Silicio	Si	10
Hierro	Fe	100
Aluminio	Al	20
Cromo	Cr	20
Estaño	Sn	0
Cobre	Cu	100
Plata	Ag	6
Plomo	Pb	100
Sodio	Na	100
Níquel	Ni	0
Boro	B	40
Zinc	Zn	10

Nota: si el motor es de aluminio, el contenido de este metal en el aceite usado esta entre 60 y 80 ppm. Si el contenido de cobre, plomo, estaño y níquel, si el problema de desgaste es serio y debe repararse el motor.

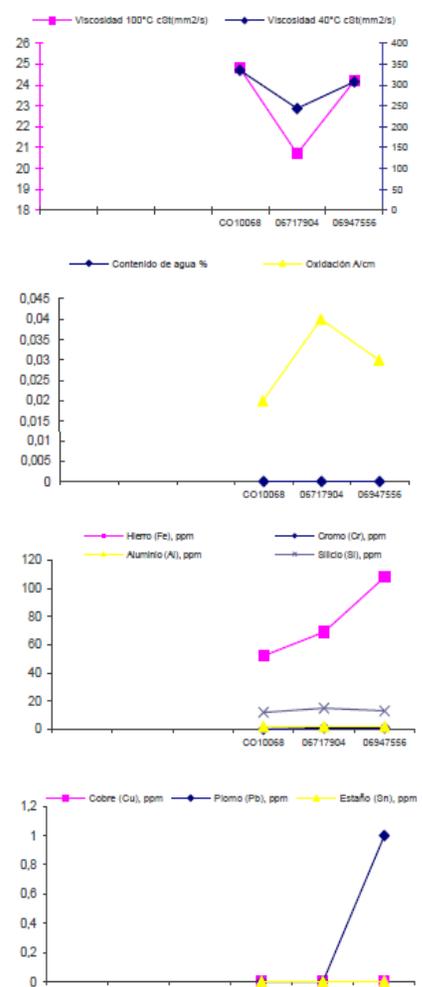
Un aumento brusco en el contenido de hierro se debe frecuentemente al desgaste de los cilindros y los segmentos o anillos. Debe asociarse con el contenido en cromo, en el caso de anillos cromados, y con el contenido en silicio, en el caso de filtros de aire ineficaz, sucio o mal montados. El silicio da lugar a desgaste abrasivo, principalmente en la zona del punto muerto superior en la cámara de combustión de cada cilindro. Los problemas de dilución del aceite por combustible, adelgazan la película lubricante, haciendo que esta se rompa o desaparezca a lo largo de la carrera del pistón en el cilindro. El desgaste adhesivo que se presenta origina una elevada concentración de partículas de hierro en el aceite. La zona más crítica de lubricar en un motor de combustión interna es el punto muerto superior, allí se presentan continuamente condiciones de película limite.

Un aumento anormal en el contenido de aluminio puede ser consecuencia del agarrotamiento de un pistón, o del contacto de este con el cilindro; en este caso el contenido de hierro es excesivo.



Usuario de web : COCHV075  
 Sucursal: OILRED S.A.  
 Numero de Muestra : 06947556 Mr Rodrigo Montoya  
 Fecha de muestreo : 14/08/2015  
 Recibido el : 25/08/2015  
 Fecha de análisis : 25/08/2015  
 Número de flota/registro : TMI-10 / MEDELLIN  
 Descripción maquina : ESTYMA / DIFERENCIAL TRASERA COLOMBIE  
 Descripción componente : NO REPORTADO



CONTACTOS			
Diagnosticador:	Miguel Antonio Hernandez	Página web: <a href="http://vernolab-tech.fr.sgs.com/">http://vernolab-tech.fr.sgs.com/</a>	
Contacto:	Miguel Antonio Hernandez	Email: <a href="mailto:miguel.hernandezR@sgs.com">miguel.hernandezR@sgs.com</a>	
RESULTADOS			
Muestra N°	CO10068	06717904	06947556
Nombre Aceite Lubricante	CHEVRON MULTIGEAR LUB. EP SAE 85W140		
Fecha de toma de muestra	04/11/2014	30/06/2015	14/08/2015
Equipo h	5207	6230	6452
Aceite h	1279	1023	222
Relleno (Gal.)	0	0	0
Análisis físico - químico			
Apariencia	CLARA	CLARA	CLARA
Viscosidad 100°C cSt	24.8	20.7	24.2
Viscosidad 40°C cSt	334.7	243.3	307.3
IV	96	100	100
Agua por IR %	0.00	0.00	0.00
Oxidación A/0.1 mm	0.02	0.04	0.03
Solidos %	0	0	0
Aditivos elements			
Fósforo (P) ppm	240	256	488
Zinc (Zn) ppm	8	9	7
Calcio (Ca) ppm	3	7	113
Bario (Ba) ppm	1	1	2
Magnesio (Mg) ppm	2	2	1
Boro (B) ppm	0	0	1317
Desgaste-Contaminantes			
Hierro (Fe) ppm	52	69	108
Cromo (Cr) ppm	0	1	1
Aluminio (Al) ppm	2	2	2
Cobre (Cu) ppm	0	0	0
Plomo (Pb) ppm	0	0	1
Niquel (Ni) ppm	0	0	0
Vanadio (V) ppm	0	1	1
Estaño (Sn) ppm	0	0	0
Plata (Ag) ppm	0	0	0
Sodio (Na) ppm	0	1	32
Silicio (Si) ppm	12	15	13
Manganeso (Mn) ppm	1	2	1
Molibdeno (Mo) ppm	0	1	1
Titanio (Ti) ppm	0	0	0
			
Comentarios	Verde	Verde	Verde
COMENTARIOS			
De acuerdo con los análisis realizados, la muestra se encuentra dentro de los rangos normales para desgaste y presencia de contaminantes. Las propiedades del aceite se encuentran dentro de parámetros normales.			

This document is issued by the Company under its General Conditions of Services accessible at <http://www.sgs.com/termsandconditions.htm>. The Client's attention is drawn to the limitation of liability, indemnification and jurisdiction issues defined therein. Any other holder of this document is advised that information contained hereon reflects the Company's findings at the time of its intervention only and within the limits of Client's instructions, if any. The Company's sole responsibility is to its Client and document does not exonerate parties to a transaction from exercising all their rights and obligations under the transaction documents. Any unauthorized alteration, forgery or falsification of the content or appearance of this document is unlawful and offenders may be prosecuted to the fullest extent of the law.

En la imagen anterior se visualizan los resultados de un aceite usado CHEVRON MULTIGEAR LUBRICANT EP SAE 85W140 API GL-5 que aplica para la lubricación de diferenciales y que nos muestra un comportamiento normal en cuanto a los límites de desgaste y contaminación.

Los diferentes tipos de contaminantes presentes en un aceite usado están relacionados con los siguientes valores en micrones.

Agua.....	2,9
Productos de oxidación.....	5,8-5,9
Nitratos orgánicos.....	6, 2
Compuestos Nitratos.....	6,5
Glicoles.....	9,3-9,7
Dilución por combustible.....	10-20
Detergentes.....	8, 5

Cuando el resultado no sobrepasa estos valores, indica que el aceite está en las medidas tolerables para presencia de contaminantes y desgaste.

También se pueden apreciar los análisis de aditivos en el aceite tales como:

- Nitrógeno: Proviene de los dispersantes y de los mejoradores de índice de viscosidad.
- Calcio, magnesio (bario, sodio) proviene de los detergentes o de las goteras de anticongelante del radiador.
- Fosforo y Zinc. Proviene del antidesgaste y antioxidante.

Otros elementos posibles pueden ser el cobre, molibdeno y boro. El cobre puede estar presente como aditivo hasta en 200ppm. Este y el molibdeno pueden ser consecuencia también del desgaste de ciertos mecanismos lubricados. En el aceite de motor el boro puede provenir del anticongelante en el radiador.

También se deben tener en cuenta los siguientes valores de concentración aproximada de metales en ppm en aceites usados para transmisión, diferenciales y sistemas hidráulicos.

TIPO DE METAL	SIMBOLO QUIMICO	TRANSMISION	DIFERENCIAL	SISTEMA HIDRAULICO
Hierro	Fe	500	75	750
Cromo	Cr	10	10	10
Plomo	Pb	300	20	100
Cobre	Cu	300	50	400
Estaño	Sn	20	10	30
Aluminio	Al	100	50	50
Níquel	Ni	20	5	10
Antimonio	Sb	10	5	25
Manganeso	Mn	10	5	10
Silicio	Si	40	20	75
Boro	B	20	20	10
Sodio	Na	75	75	50

Un aumento brusco en el contenido de plomo, cobre, estaño o plata indica un excesivo desgaste de los cojinetes fabricados de acuerdo con uno o varios de estos elementos.

El aumento en el contenido de sílice que incide en un mayor o menor porcentaje de las diferenciales, se debe casi invariablemente a la entrada de aire sucio y polvo los mecanismos internos.