

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



**MANTENIMIENTO PREDICTIVO DE UNA FLOTA DE CAMIONES
DE MINERIA KOMATSU 730E**

INFORME DE COMPETENCIA PROFESIONAL

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

CHRISTIAN ALEXANDER YARLEQUÉ GUZMÁN

PROMOCION 2003-II

LIMA-PERU

2011

TABLA DE CONTENIDO

PROLOGO	1
CAPITULO 1	
INTRODUCCION	
1.1 Información general de Minera Barrick Misquichilca S.A., operación Lagunas Norte	4
1.1.1 Proceso de extracción del oro	5
1.1.1.1 Mina	5
1.1.1.2 Chancado	5
1.1.1.3 Faja transportadora	5
1.1.1.4 Lixiviación	6
1.1.1.5 Planta de procesos	6
1.1.1.6 Fundición	6
1.2 Mantenimiento Predictivo	7
CAPITULO 2	
TREN DE POTENCIA	
2.1 Motor Diesel Cummins K2000E	9
2.1.1 Sistema de Combustible PT	11
2.1.1.1 Orificio de suministro cerrado	12
2.1.1.2 Orificio de suministro abierto	13
2.1.1.3 Presión de riel de combustible y Torque de motor	14

2.1.2	Sistema de Lubricación	16
2.1.2.1	Bomba de lubricación	16
2.1.2.2	Cabezal de filtros de aceite	17
2.1.2.3	Enfriadores de aceite	18
2.1.2.4	Galería principal de aceite	19
2.1.3	Sistema de Enfriamiento	20
2.1.3.1	Bomba de agua	20
2.1.3.2	Carcasa del termostato	21
2.1.3.3	Postenfriamiento de baja temperatura (LTA)	22
2.1.4	Sistema de Admisión y Escape	24
2.1.4.1	Turbocargado de dos etapas	24
2.1.4.2	Múltiple de escape	24
2.1.5	Análisis de aceite del Motor K2000E	26
2.1.6	Monitoreo del motor con el software CENSE	27
2.1.6.1	Componentes del CENSE	28
2.1.6.2	Principios de operación del CENSE	29
2.1.6.3	Parámetros de monitoreo mediante el CENSE	29
2.1.7	Eventos del motor diesel que fueron encontrados mediante el mantenimiento predictivo	30
2.1.7.1	Elevada presión blowby (presión de gases en el cárter)	31
2.1.7.2	Alta restricción en filtros de aceite motor	33
2.1.7.3	Baja temperatura de gases de escape en cilindro 7RB	35
2.2	Alternador principal General Electric GTA22	37
2.2.1	Excitador estático de campo del Alternador (AFSE)	38

2.3	Motor de Tracción General Electric GE788	39
2.3.1	Funcionamiento del Motor de Tracción	39
2.3.2	Excitador estático de campo del Motor (MFSE)	42
2.3.3	Parrillas de frenado o retardo	43
2.3.4	Blower o ventilador de parrillas	44
2.3.5	Contactores	44
2.3.6	Análisis de aceite del Motor de Tracción	45
2.3.7	Monitoreo del motor de tracción con el Software STATEX III	47
	2.3.7.1 Parámetros de monitoreo mediante el STATEX III	47
2.3.8	Eventos del motor de tracción que fueron encontrados mediante el mantenimiento predictivo	50
	2.3.8.1 Alto contenido de hierro en motor de tracción izquierdo	50
	2.3.8.2 Alto desgaste en colector de motor de tracción izquierdo	52
2.4	Sistema de operación y control STATEX III	54
2.4.1	Componentes del STATEX III	55
2.4.2	Principio de funcionamiento del STATEX III	56
2.4.3	Panel Controlador 17FL275	58
2.4.4	Transición de los estados del sistema	59
2.4.5	Restricciones operativas	62
2.4.6	Ajuste de la velocidad del camión en MPH	63
2.4.7	Eventos del sistema STATEX III que fueron encontrados mediante el mantenimiento predictivo	64
	2.4.7.1 Activación de códigos de falla N°66 Overspeed y N°67 Overspeed Overshoot	65

CAPITULO 3

CHASIS Y TOLVA DEL CAMION

3.1	Chasis del camión 730E	70
3.1.1	Causas de fisuramiento del chasis	71
3.1.1.1	Eventos de sobreesfuerzo en la estructura	71
3.1.1.2	Fragilización de la estructura por transformaciones metalúrgicas	73
3.1.1.3	Imperfecciones en la superficie	73
3.1.2	Inspecciones al chasis	74
3.2	Tolva	74
3.2.1	Principios de la medición con ultrasonido	74
3.2.2	Inspección y medición con ultrasonido el espesor de tolva	75
3.3	Cilindros de suspensión	77
3.3.1	Cilindros de suspensión delanteros	77
3.3.2	Cilindros de suspensión posteriores	77
3.3.3	Test de presión de los cilindros de suspensión	80
3.3.4	Procedimiento de engrase y carga de las suspensiones	80
3.3.4.1	Procedimiento de engrase para las suspensiones	82
3.3.4.2	Procedimiento de carga de nitrógeno para las Suspensiones	83
3.4	Análisis de la carga útil utilizando el software PLM III (Payload Meter)	84
3.4.1	Descripción de los estados del ciclo de acarreo	84
3.4.2	Regreso sin carga: Carry Back	86
3.4.3	Fuentes de error de carga útil	87

3.4.4	Calibraciones con el PLM III	87
	3.4.4.1 Calibración de la tara neta del camión	87
	3.4.4.2 Calibración del inclinómetro	88
3.4.5	Análisis de data con el PLM III	88
3.4.6	Reporte resumen de cargas del PLM III	90
3.4.7	Distribución real de cargas	92
3.5	Eventos que fueron encontrados mediante el mantenimiento predictivo	93
	3.5.1 Fisura en trunion de cilindro de levante derecho	94
	3.5.2 Fisura en el guiador de tolva	96
	3.5.3 Desgaste en la parte posterior de la tolva	97
	3.5.4 Baja presión de gas nitrógeno en la suspensión posterior izquierda	99

CAPITULO 4

SISTEMA HIDRAULICO

4.1	Sistema hidráulico de freno	101
	4.1.1 Freno de servicio	103
	4.1.2 Freno de parqueo	104
	4.1.3 Freno de traba (brake lock)	107
	4.1.4 Freno secundario y aplicación automática	108
	4.1.5 Circuito de alarma de freno	109
	4.1.6 Procedimiento de inspección del circuito de freno	111
4.2	Sistema hidráulico de dirección	113
	4.2.1 Componentes del sistema hidráulico de dirección	116
	4.2.1.1 Válvula de control de dirección	116

4.2.1.2	Válvula descargadora	117
4.2.1.3	Válvula bleed down	118
4.2.1.4	Bomba de dirección y frenos	120
4.2.1.5	Acumuladores de la dirección	121
4.2.1.6	Cilindros de dirección	121
4.3	Sistema hidráulico de levante	122
4.3.1	Componentes del sistema hidráulico de levante	124
4.3.1.1	Bomba de levante	124
4.3.1.2	Válvula de levante	125
4.3.1.3	Válvula piloto de levante	127
4.3.1.4	Válvula contrabalance	127
4.3.1.5	Solenoides límite de levante de tolva	128
4.3.1.6	Cilindros de levante de tolva	129
4.3.2	Procedimiento de inspección del circuito de dirección y levante	130
4.4	Análisis de aceite del sistema hidráulico	130
4.5	Eventos que fueron encontrados mediante el mantenimiento predictivo	131
4.5.1	Falla del o-ring y protector de polvo del pistón de caliper de freno delantero	131
4.5.2	Cambio de la bomba de levante	133
4.5.3	Falla de la bomba de dirección	135

CAPITULO 5

RUEDAS DELANTERAS Y NEUMATICOS

5.1	Rueda delantera	137
-----	-----------------	-----

5.1.1	Análisis de aceite de la Rueda delantera	138
5.1.2	Ajuste del rodamiento de la rueda delantera	140
5.2	Neumáticos	143
5.2.1	Neumático Diagonal o Convencional, Belshina 40.00R57	143
5.2.2	Neumático Radial, Michelin 37.00R57	144
5.2.3	El TKPH	146
5.2.3.1	TKPH base	146
5.2.3.2	TKPH real	149
5.2.3.3	Comparación entre el TKPH máximo y el TKPH real	150
5.2.4	TKPH real en Minera Barrick – Lagunas Norte	150
5.2.5	Consecuencia de exceso de TKPH en los neumáticos	155
5.3	Eventos que fueron encontrados mediante el mantenimiento predictivo	156
5.3.1	Alto desgaste en rueda delantera derecha	156
	CONCLUSIONES	158
	BIBLIOGRAFIA	160
	ANEXOS	161

A la memoria de mi padre Segundo

Al esfuerzo de madre María

Al apoyo incondicional de mi novia Marianela

PROLOGO

El presente trabajo es desarrollado en base a una experiencia laboral de más de cinco años en el área de mantenimiento predictivo de minera Barrick Misquichilca S.A., operación Lagunas Norte, siempre voy a estar agradecido a ésta empresa por haberme permitido desarrollarme profesionalmente y con ello poder realizar el presente informe de ingeniería cuyos capítulos se describen a continuación.

En el capítulo 1, Introducción, se describe la información general de la empresa minera Barrick Misquichilca S.A., operación Lagunas Norte, así como la descripción del proceso de extracción del oro. Se hace una descripción del mantenimiento predictivo y los beneficios que se esperan obtener.

En el capítulo 2, Tren de Potencia, se describe el monitoreo del motor diesel Cummins K2000E, el Alternador principal General Electric GTA22 y el Motor de Tracción General Electric GE788; además describiremos el sistema STATEX III y sus funciones para el control y operación del camión.

En el capítulo 3, Chasis y tolva del camión, se muestra la inspección de fisuras al chasis utilizando líquidos penetrantes, mediciones con ultrasonido de las planchas de refuerzo de la tolva, se explicará la utilización del software de Komatsu Payload Meter (PLM III) para el monitoreo de los cilindros de suspensión y finalmente la aplicación del PLM III para el análisis de cargas.

En el capítulo 4, Sistema hidráulico, abarcaremos el monitoreo del sistema hidráulico de freno, dirección y levante; siendo éstos sistemas de mucha importancia para la seguridad y confort durante la operación del camión. Debido a la importancia se describirá con detalle los diferentes sistemas de seguridad del freno y las relaciones entre ellos.

En el capítulo 5, Ruedas delanteras y Neumáticos, se mostrará el monitoreo de la rueda delantera básicamente mediante el análisis de aceite. También se analizará el TKPH (Toneladas Kilómetro por Hora) utilizando el PLM III, el valor del TKPH es el parámetro más importante en la vida de un neumático.

En las conclusiones, se describen los resultados y beneficios que se han obtenido y esperan obtener para cada uno de los componentes que se le realiza el mantenimiento predictivo.

CAPITULO 1

INTRODUCCION

En los últimos años, el Perú ha experimentado un importante desarrollo en la actividad minera, siendo esta actividad la que más ha aportado al crecimiento económico del país. Uno de los factores para el desarrollo en la actividad minera ha sido la mejora de los equipos móviles, dichos equipos ahora vienen con controles electrónicos, siendo los más avanzados los sistemas de control, monitoreo y performance de los camiones fuera de borda (OHT: off high truck), en éstos camiones sus componentes principales están gobernados por una computadora, que monitorea su condición en cada instante, con el objetivo de que la operación del equipo sea la más fácil, óptima y segura posible.

En Minera Barrick Misquichilca S.A., operación Lagunas Norte, el proceso de transporte de mineral actualmente cuenta con camiones eléctricos Komatsu 730E.

El objetivo del presente trabajo es demostrar los pasos que se han seguido para conseguir un mantenimiento predictivo de una flota de camiones Komatsu 730E, con el cual se obtendrá un mayor incremento en la vida útil de sus componentes, optimizando los costos de mantenimiento y reparación, para obtener mayor producción y alta performance del equipo, a un menor costo de producción.

El trabajo se ha desarrollado en base a una experiencia laboral de más de cinco años, en el monitoreo de condiciones, de los camiones Komatsu 730E, con lo que se ha obtenido una mayor utilización y performance de los equipos.

A continuación veremos algunos aspectos fundamentales de la empresa Minera Barrick Misquichilca S.A., operación Lagunas Norte y describiremos en que consiste el mantenimiento predictivo y sus beneficios.

1.1 Información general de Minera Barrick Misquichilca S.A., operación Lagunas Norte

La empresa Minera Barrick Misquichilca S.A., operación Lagunas Norte, pertenece a Barrick Gold Corporation, que es la minera multinacional dedicada a la extracción de oro más grande del mundo. Su sede principal está ubicada en la ciudad de Toronto, Canadá. En el Perú tiene dos operaciones mineras: Lagunas Norte (La Libertad) y Pierina (Ancash).

La mina Lagunas Norte se ubica en el distrito de Quiruvilca, provincia de Santiago de Chuco, en la zona norte del país y a una altura entre 3,700 y 4,200 metros sobre el nivel del mar. Dista a 140 kilómetros de la ciudad de Trujillo, capital de la región La Libertad.

El yacimiento es a tajo abierto, inició sus operaciones el segundo trimestre del 2005 y significó una inversión en su construcción de US\$340 millones. Sobre la base de las reservas existentes, de 8.8 millones de onzas, la vida útil esperada de la mina es de 10 años aproximadamente.

1.1.1 Proceso de extracción del oro

A continuación se va a describir las etapas para la obtención del oro.

1.1.1.1 Mina

Lagunas Norte está diseñada como una mina a tajo abierto con diseño tipo andenería con altura de bancos de 10 metros.

Para obtener el mineral, se utilizan perforadoras que realizan perforaciones de 10.5 metros de profundidad donde se colocan explosivos para realizar voladuras. El material minado es cargado por palas hidráulicas y transportado por camiones de 188 toneladas de capacidad hasta la estación de chancado. Diariamente se mueven más de 80,000 toneladas métricas entre mineral y estéril. En todo momento camiones cisterna riegan la mina para evitar la generación de polvo en el ambiente.

1.1.1.2 Chancado

Una vez en la chancadora/trituradora primaria, la roca es reducida hasta menos de 15 centímetros. Más tarde, éste material es trasladado a través de una faja transportadora hasta la segunda estación de chancado donde se reduce hasta un tamaño de menos de 4 centímetros.

1.1.1.3 Faja transportadora

El mineral, ya reducido de tamaño, es depositado en una tolva, que permite dosificar el carguío de los camiones mineros que luego lo transportarán a las canchas de lixiviación para la siguiente etapa del proceso.

1.1.1.4 Lixiviación

El mineral transportado es depositado en pilas en las canchas de lixiviación para luego aplicarles por goteo una solución lixivante de cianuro de sodio disuelta en agua para separar el oro y la plata contenidos en el mineral. Mediante un sistema de tuberías, la solución rica en oro y plata es dirigida hacia la planta de procesos.

1.1.1.5 Planta de procesos

La solución rica en oro y plata es filtrada, se le extrae el oxígeno y se le añade polvo de zinc para lograr la precipitación de los metales valiosos. El líquido sobrante es devuelto al proceso de lixiviación a través de un circuito cerrado.

1.1.1.6 Fundición

Una vez completado el proceso anterior, se extrae de los filtros-prensa el precipitado que luego es secado en las retortas. Una vez seco, se mezcla con fundentes y se carga en hornos donde es fundido y moldeado, obteniéndose así la barra de oro y plata (metal doré) que son empacadas para su embarque.

1.2 Mantenimiento Predictivo

El mantenimiento predictivo está basado en la determinación del estado de la máquina en operación. El concepto se basa en que las máquinas darán un tipo de

aviso antes de que se produzca la falla, y éste tipo de mantenimiento trata de percibir los síntomas para luego tomar acciones.

Los síntomas se perciben mediante ensayos no destructivos, como pueden ser análisis de aceite, análisis de desgaste de partículas, medida de vibraciones, medición de temperaturas, termografías, análisis con ultrasonido, etc.

Los mantenimientos realizados a los equipos pesados, están basados en los del tipo correctivo y preventivo, las demás técnicas como el predictivo, proactivo, TPM, etc., es solo aplicado en pocas empresas. En el caso del mantenimiento predictivo se había limitado solo al análisis de aceite.

Para el caso de los camiones eléctricos Komatsu 730E, que vienen con sistemas de control electrónicos y de monitoreo de condición, es necesario conocer bien al detalle el funcionamiento de sus componentes y/o sistemas, conocer el funcionamiento de los diferentes softwares de monitoreo, tales como: CENSE, STATEX III y PLM III, y para cada uno de ellos establecer los valores nominales de los parámetros de funcionamiento. Es necesario también tener sólidos conocimientos de los ensayos no destructivos.

Los parámetros de monitoreo se expresarán mayormente en unidades inglesas debido a que son mas fáciles de expresar y reconocer en dichas unidades.

Los beneficios que se esperan obtener con el mantenimiento predictivo son:

- Mayor performance del camión, lograr una disponibilidad mínima de 90%, disminución de tiempos muertos por reparaciones y por reingresos al taller.
- Proyección real para el cambio o reparación de componentes, evitándose tener altos ítems en stock.

- Incrementar la vida estándar de los componentes en un 50% como mínimo, antes de su overhaul, esto no es aplicable para los componentes del sistema de dirección.
- Optimizar los ciclos de carguío, aumentando de esta manera la cantidad de mineral transportado y optimizando el consumo de combustible.
- Realizar reclamos de garantía al fabricante por fallas prematuras que pudieran tener algunos componentes por errores de fabricación.

CAPITULO 2

TREN DE POTENCIA

En el presente capítulo describiremos los componentes que conforman el Tren de Potencia del camión 730E; es decir el motor diesel Cummins K2000E, el Alternador principal General Electric GTA22 y el Motor de Tracción General Electric GE788; además describiremos el sistema STATEX III y sus funciones para el control y operación del camión.

Para cada componente se describirá las diferentes técnicas de mantenimiento predictivo que se le realiza, tales como: análisis de aceite, mediciones a los engranajes del motor de tracción, mediciones de desgaste al colector de las armaduras y monitoreo de parámetros de funcionamiento utilizando el software de Cummins CENSE para el motor diesel y el software de General Electric STATEX III para el Alternador Principal y Motor de Tracción; además indicaremos eventos que se presentaron y fueron solucionados, mediante las técnicas predictivas, justo a tiempo para evitar la falla de algún componente principal.

2.1 Motor Diesel Cummins K2000E

El camión Komatsu 730E es impulsado por un motor diesel Cummins de 4 tiempos, denominado **KTTA50 ó K2000E**, la función principal del motor diesel es suministrar velocidad de rotación al Alternador Principal para la generación del

campo magnético, así también ser fuente de entrada de energía para las bombas del sistema hidráulico (bomba de levante y bomba de dirección/frenos), las siglas del motor son descritas a continuación:

- K** : Familia de motores.
- T** : Sistema de admisión de aire sobrealimentado con turbocompresores.
- T** : Cuatro turbocompresores.
- A** : Sistema de admisión de aire enfriado con aftercoolers (postenfriadores)
- 50** : Cilindrada del motor (litros)
- 2000** : Potencia al freno en HP.
- E** : Motor gobernado electrónicamente.

Algunas características físicas del motor se detallan a continuación:

- **Número de cilindros** : 16 cilindros en ‘V’
- **Diámetro del pistón** : 159 mm.
- **Carrera** : 159 mm.
- **Potencia al freno** : 2,000 HP (1,492 kW) @ 1,900 RPM
- **Potencia a la volante** : 1,860 HP (1,388 kW) @ 1,900 RPM
- **Peso** : 11,670 lbs (5,294 kg)
- **Arranque** : Eléctrico, 2 motores de 24 v.
- **Turbocompresores** : 2 Turbos de baja presión (delantero y posterior) y 2 Turbos de alta presión (izquierdo y derecho)
- **Sistema de combustible** : PT (presión – tiempo)

2.1.1 Sistema de Combustible PT

El motor K2000E utiliza el principio de funcionamiento del sistema de combustible PT (Pressure – Time, Presión – Tiempo), donde “P” se refiere a la presión de combustible hacia la entrada de los inyectores, dicha presión es controlada por la bomba de combustible y “T” se refiere al tiempo disponible que tiene el combustible para fluir al interior de la copa del inyector, éste tiempo es controlado por la velocidad del motor a través del árbol de levas. A parte de estas dos variables existe una tercera que es referida al área de pasaje del flujo, que está controlada por la correcta calibración de los inyectores; con la variación de al menos una de estas variables podemos variar la cantidad de combustible que ingresa a la copa del inyector, esta relación es la esencia del sistema de combustible PT.

Es necesario recordar que con un área de pasaje de flujo determinada (calibración de los inyectores) y a una velocidad del motor constante, el suministro de combustible hacia la copa del inyector depende únicamente de la presión de riel, a continuación mostraremos los dos estados, abierto y cerrado, del orificio de suministro de combustible.

En la figura 2.1 se muestran las tres variables del sistema de combustible PT antes mencionadas.

El orificio de suministro de combustible cambia de estado dependiendo de la posición de la leva de la varilla de empuje del inyector, las levas tienen dos superficies, denominadas círculo interior y círculo exterior, dichas levas giran en directa proporción a la velocidad del motor.

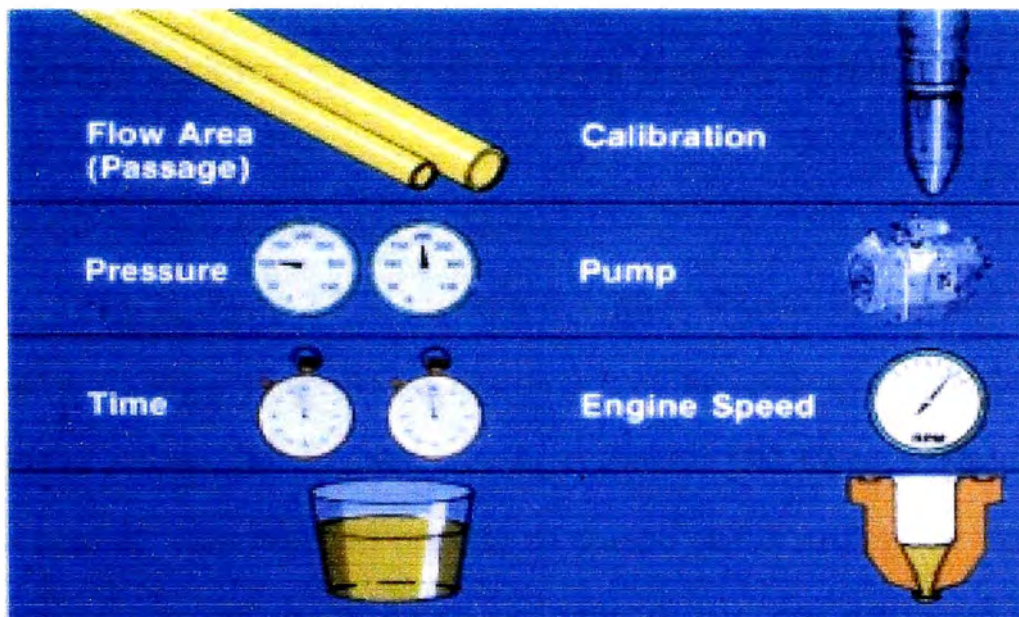


Fig. 2.1. Variables del sistema de combustible PT.

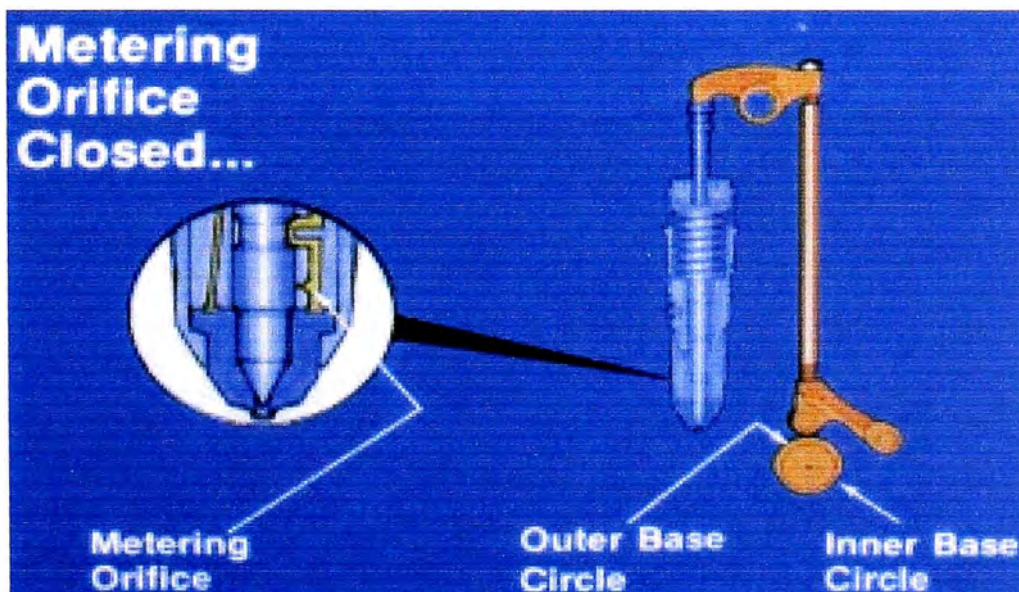


Fig. 2.2. Orificio de suministro cerrado.

2.1.1.1 Orificio de suministro cerrado

En la figura 2.2 se muestra el orificio cerrado, el seguidor inferior se encuentra sobre el círculo exterior de la leva del inyector, haciendo empujar a

la varilla hacia arriba, esto hace que el puente de balancín empuje hacia abajo el émbolo del inyector y con ello se cierre el orificio de suministro.

2.1.1.2 Orificio de suministro abierto

En la figura 2.3 se muestra el orificio abierto, el seguidor inferior se encuentra sobre el círculo interior de la leva, haciendo que la varilla baje, con ello el resorte del inyector levanta el émbolo del inyector abriendo así el orificio de suministro. El periodo de tiempo que el orificio de suministro se encuentre descubierto es el tiempo disponible para que el combustible ingrese al interior de la copa del inyector; dicho tiempo es controlado por la velocidad del motor, a mayor velocidad es menor el tiempo disponible para suministro de combustible.

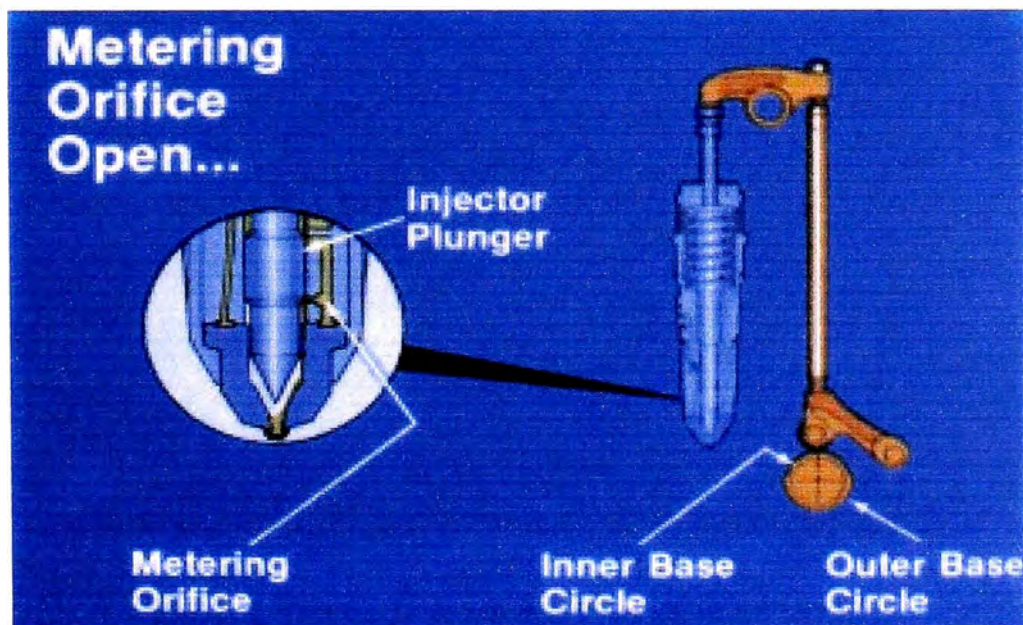


Fig. 2.3. Orificio de suministro abierto.

2.1.1.3 Presión de riel de combustible y Torque de motor

La función de la regulación de la presión de riel hacia los inyectores nace dentro de la bomba de combustible, la cual está diseñada y calibrada para dar la correcta presión de riel durante todas las condiciones de operación del motor. Es importante saber que a cualquier velocidad del motor, la cantidad de combustible suministrado al interior de la copa del inyector por ciclo determina el Torque ⁽¹⁾ que el propio motor desarrolla, dicho Torque es el resultado de la fuerza ejercida abajo sobre el pistón por la combustión.

La presión de riel de combustible es mostrada en la figura 2.4, note que la máxima presión ocurre cuando el motor está a plena carga (Rated), sin embargo cuando el motor está en torque máximo (Torque peak) la presión de riel disminuye.

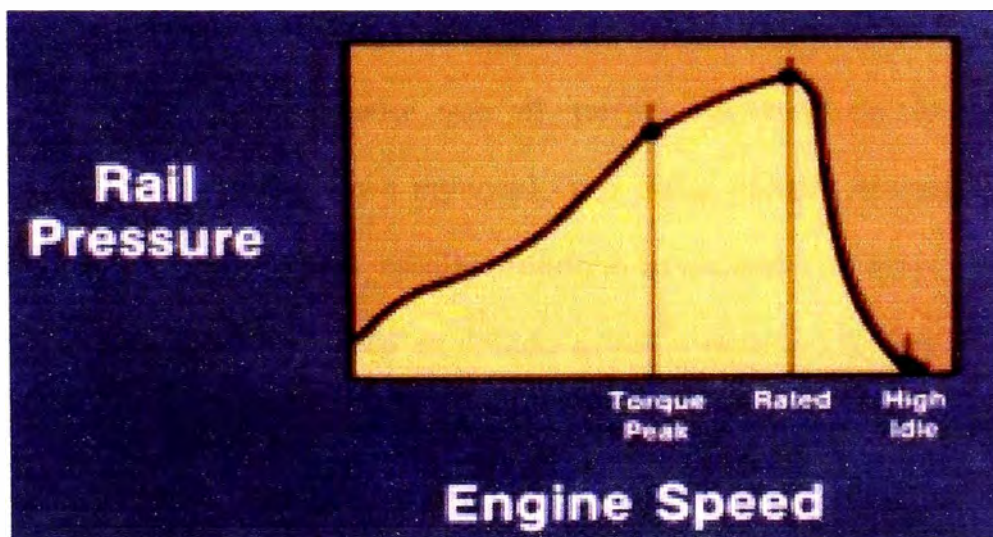


Fig. 2.4. Curva de presión de riel de combustible.

El torque de salida a cualquier velocidad se muestra en la figura 2.5, esta curva muestra el torque cuando el motor está a plena carga (Rated), si

(1) El Torque es definido como un esfuerzo de torsión o giro, la lectura del Torque la obtendremos en la volante del motor.

continuamos incrementando la carga, entonces el motor disminuirá sus RPM y desarrollará su máximo torque (Torque peak); la diferencia entre éstos dos torques es definido como incremento de torque.

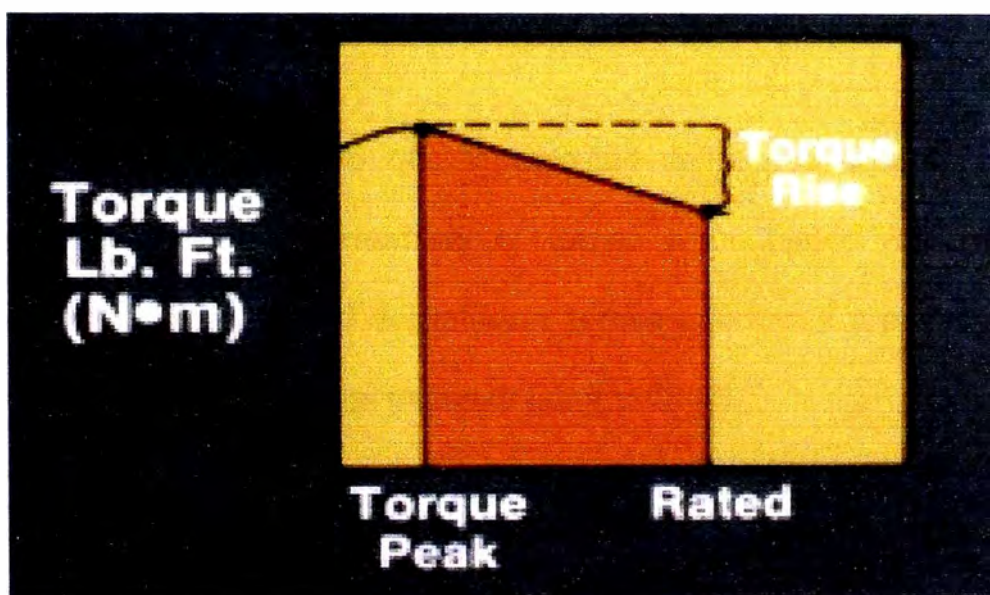


Fig. 2.5. Curva de torque del motor.

Hemos determinado que el torque depende de la cantidad de combustible suministrado e inyectado por ciclo, cuando el motor alcanza su máximo torque se estará suministrando e inyectando la mayor cantidad de combustible por ciclo; esto es debido a que a máximo torque el motor está girando a una velocidad mas baja, lo que significa tener mas tiempo disponible de suministro. No obstante la presión de riel es menor a velocidad de máximo torque que a velocidad de plena carga, pero el incremento de tiempo de suministro resulta en una mayor cantidad de combustible introducida e inyectada por ciclo a máximo torque.

Ahora, el motor consume más combustible por ciclo a velocidad de torque máximo que a velocidad de plena carga, esto hará que se consuma más combustible por hora a velocidad de plena carga. La razón de esto es que hay más ciclos de inyección a velocidad de plena carga que a velocidad de torque máximo.

Hemos observado que la cantidad de combustible suministrado e inyectado por ciclo determina el torque a cualquier velocidad, hemos identificado la velocidad del motor a torque máximo y a plena carga como dos puntos claves en la operación del motor diesel.

2.1.2 Sistema de Lubricación

La lubricación en el motor diesel es fundamental para evitar desgaste excesivo debido a la gran fricción que se genera, por la alta velocidad de giro, entre las partes internas del motor.

2.1.2.1 Bomba de lubricación

El componente principal del sistema de lubricación es la bomba, dicha bomba es de engranajes helicoidales, está montada en la brida inferior del cárter, y es impulsada por el engranaje posterior del cigüeñal. En la figura 2.6 se aprecia la ubicación de la bomba, ésta bomba tiene un engrane intermedio entre el engrane del cigüeñal y el engrane impulsor de la bomba. Este arreglo del engrane impulsor proporciona un rango de multiplicación de velocidad de relación 1.105 a 1, con el objetivo de incrementar el flujo de salida.

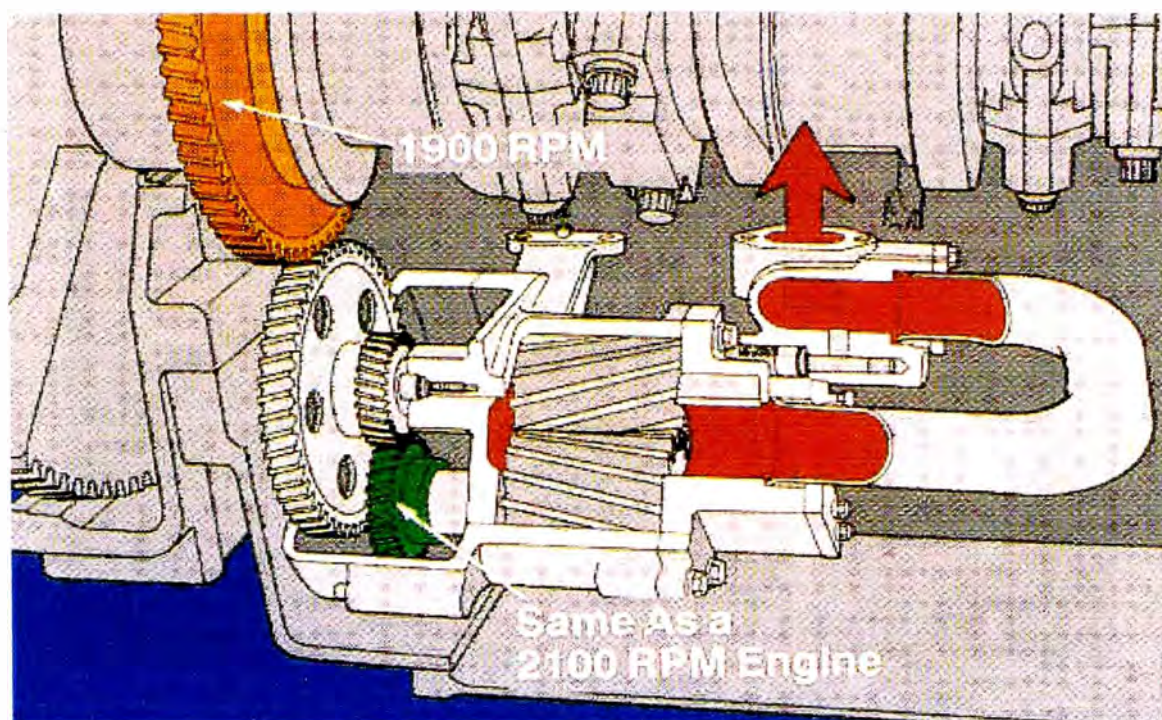


Fig. 2.6. Bomba de lubricación.

El sistema de lubricación utiliza una válvula de alivio externa para presiones elevadas, ésta válvula está localizada entre la bomba y el cabezal de filtros. Esta válvula contiene un émbolo y un resorte y está calibrada para descargar el aceite al cárter cuando la presión exceda de 160 psi, a éste valor de presión se puede llegar cuando se trabaja el motor con el aceite frío.

2.1.2.2 Cabezal de filtros de aceite

El flujo de aceite entra al cabezal del filtro por la parte de atrás. El aceite fluye a través de la cavidad de la válvula reguladora hacia las tomas de admisión del filtro, posteriormente atraviesa el filtro y sube hasta la galería de aceite limpio del cabezal.

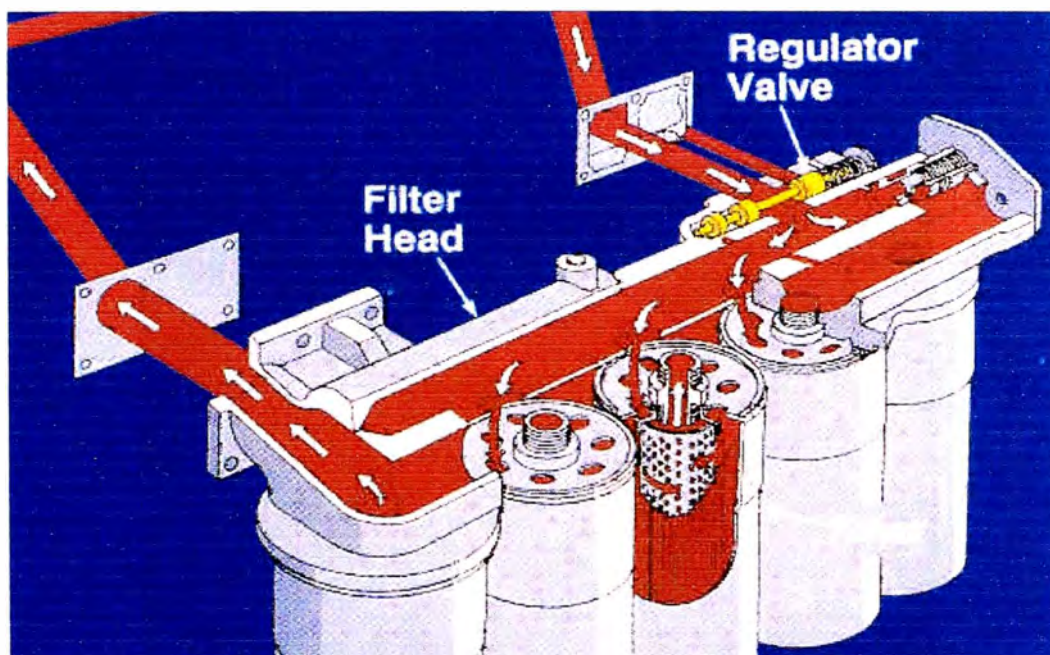


Fig. 2.7. Cabezal de filtros de aceite.

La válvula reguladora sensa la presión de aceite proveniente de la galería de la entrada al cabezal del filtro y regula la presión del sistema de 30 a 80 psi. El sensar la presión en la galería de aceite permite que la presión del aceite del motor permanezca constante sin importar la condición de los filtros.

El cabezal del filtro contiene también una válvula derivadora, cuando la diferencia de presión entre la admisión y salida del filtro excede 50 psi se abre la derivación y el flujo de aceite no pasará por los filtros, esto ocurre por una gran contaminación.

2.1.2.3 Enfriadores de aceite

En la figura 2.8 se aprecia el flujo de aceite por los enfriadores. En la descarga de presión alta, el flujo de aceite es dirigido a través de los puertos del bloque de cilindros a la galería de admisión del enfriador de aceite. Del

enfriador, el aceite fluye a través de los puertos del bloque de cilindros al cabezal del filtro.

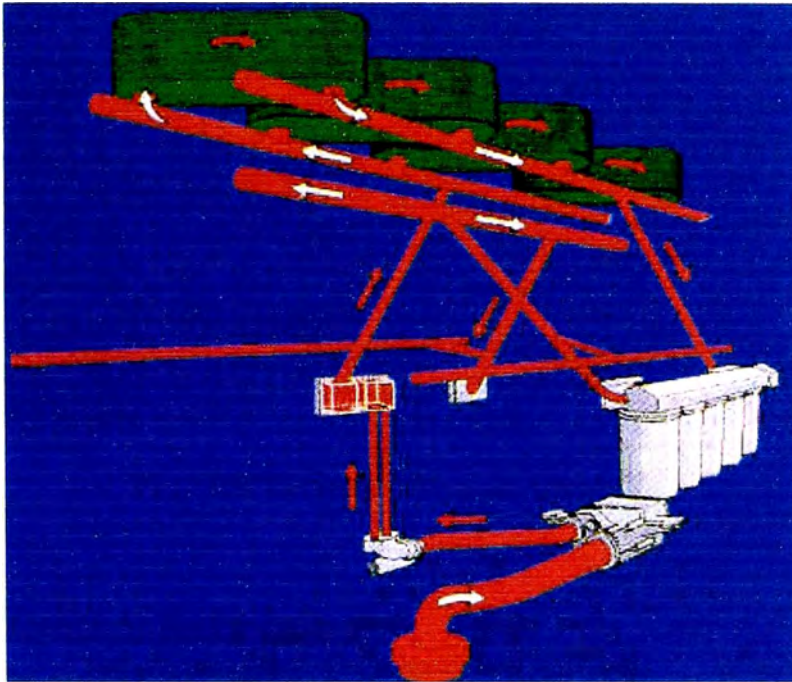


Fig. 2.8. Enfriadores de aceite.

2.1.2.4 Galería principal de aceite

El aceite proveniente del cabezal del filtro fluye a la galería principal por el centro del bloque de cilindros. La cual suministra aceite al cigüeñal y pernos, a las galerías de aceite derecha e izquierda del árbol de levas, a las toberas para el enfriamiento del pistón y a la carcasa del engrane frontal.

En la figura 2.9 se observa la lubricación en la galería principal y del árbol de levas, de éste se provee lubricación a los bujes, turbocargadores, flechas de seguidores de levas y flechas de balancines.

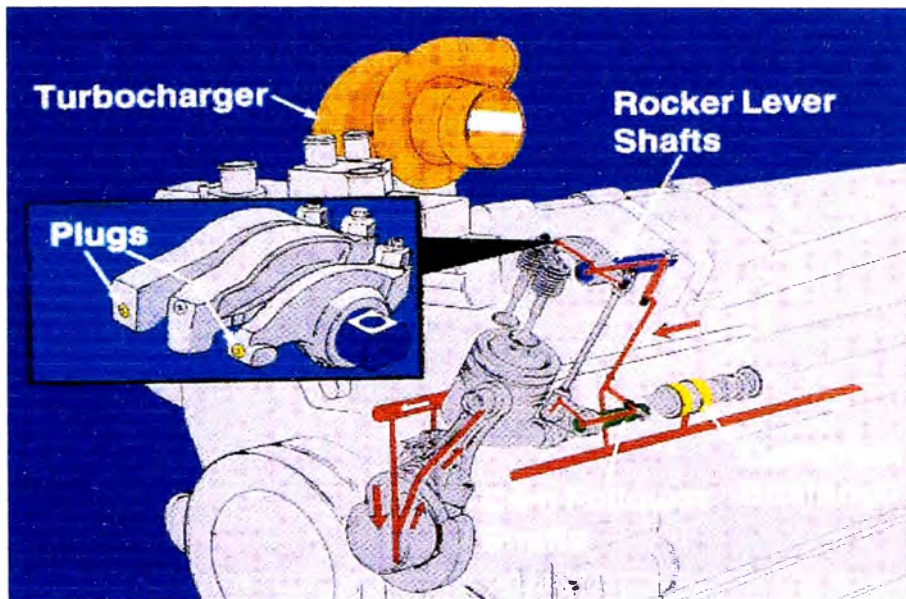


Fig. 2.9. Galería principal de aceite.

2.1.3 Sistema de Enfriamiento

El motor K2000E se caracteriza por tener un sistema de enfriamiento de flujo alto, el cual, incorpora el sistema postenfriado de baja temperatura conocido como LTA (Low Temperatura Aftercooling).

2.1.3.1 Bomba de agua

El componente principal del sistema de enfriamiento es la bomba de agua, dicha bomba es impulsada por un engranaje de la carcasa frontal del motor. El refrigerante fluye de la bomba de agua al centro de la ve, donde están localizados los enfriadores de aceite. De la ve, el refrigerante fluye en ambos bancos del bloque de cilindro y alrededor de las camisas. Del boque de cilindros, se dirige hacia la cabeza del cilindro y entra al múltiple de agua y al termostato.

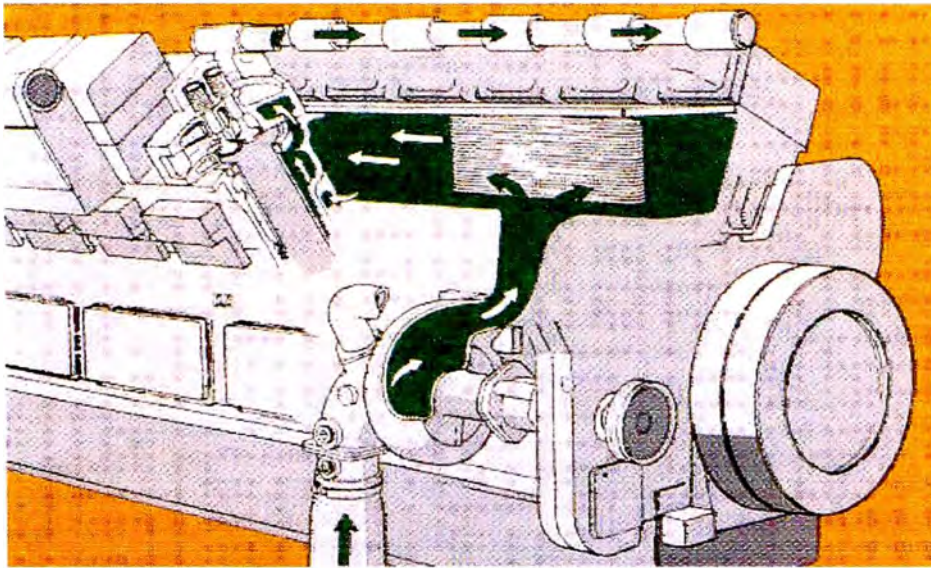


Fig. 2.10. Bomba de agua.

2.1.3.2 Carcasa del termostato

La carcasa contiene cuatro termostatos para el sistema de enfriamiento del motor, y uno para el sistema postenfriado de baja temperatura (LTA). El motor y los sistemas postenfriados vienen separados en la carcasa. El termostato LTA tiene una brida moleteada y es más larga que los termostatos principales del motor, sin embargo, el cuerpo hermético es del mismo tamaño.

Cuando el motor está frío (debajo de la temperatura de operación), todos los termostatos están cerrados (retraídos). En esta posición, el conducto al radiador está cerrado y el flujo de refrigerante es dirigido a través del centro del termostato hacia la cámara de derivación cargando a la bomba de agua.

Conforme el motor va alcanzando la temperatura normal de operación, los termostatos empezarán a abrirse (extenderse). Mientras que el motor

alcanza esta temperatura de operación, tanto los conductos del radiador y de derivación se abrirán y recibirán el flujo de refrigerante.

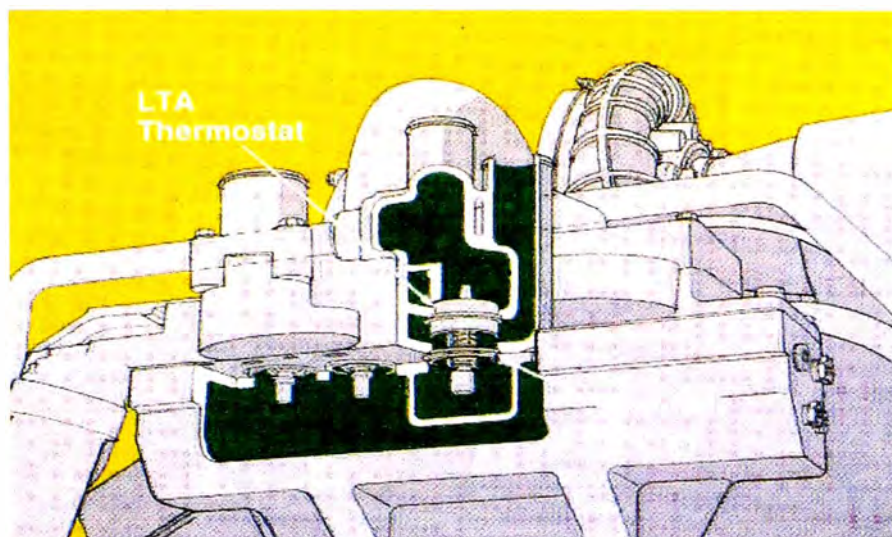


Fig. 2.11. Carcasa del termostato.

Cuando se alcanza la temperatura de operación, los termostatos estarán completamente abiertos (extendidos), cerrando así la derivación y abriendo el conducto hacia el radiador. En la figura 2.11 se aprecia el termostato dentro de su carcasa.

2.1.3.3 Postenfriamiento de baja temperatura (LTA)

El postenfriamiento de baja temperatura (LTA) es una característica de los motores K2000E; este sistema LTA, asegura la máxima potencia de salida y temperatura baja en los cilindros, manteniendo éstas bajas temperaturas en la toma de aire.

El LTA es un núcleo de agua, tipo sistema postenfriado y es una parte integral del sistema de enfriamiento del motor. El LTA tiene capacidad para suministrar el refrigerante a los núcleos del postenfriador (aftercooler) a una

temperatura por debajo del rango de operación del sistema de enfriamiento del motor.

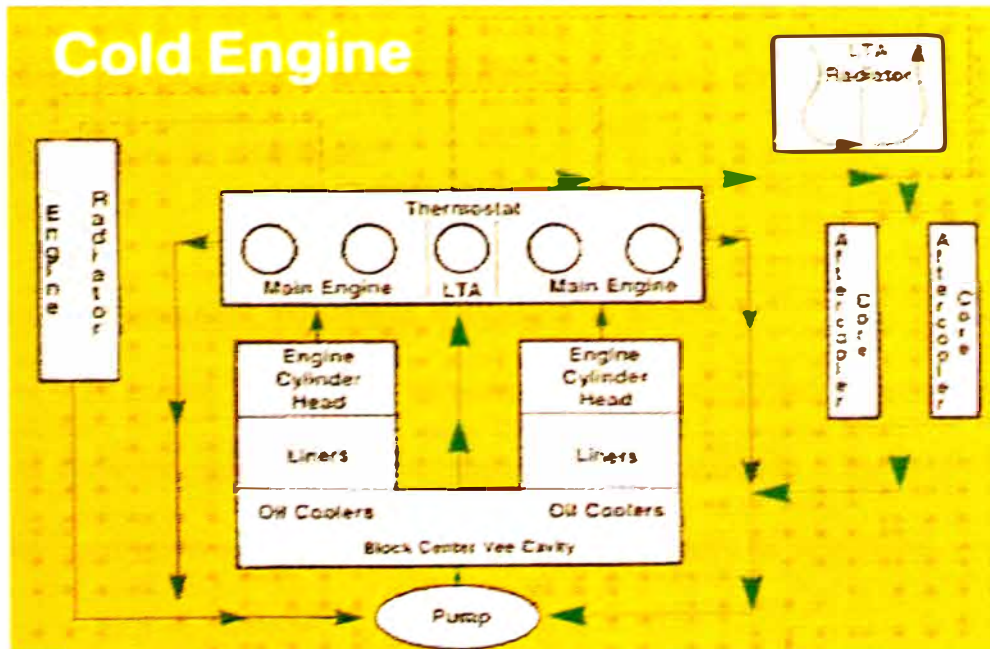


Fig. 2.12. Flujo de enfriamiento del motor.

En la figura 2.12 se muestran los componentes del sistema de enfriamiento y del LTA. Nótese que ambos sistemas están integrados y utilizan la misma bomba de agua, esto muestra el flujo de refrigerante para enfriar el motor.

Cuando el motor está frío o por debajo de la temperatura de operación, el termostato del LTA estará cerrado (retraído). El refrigerante que viene de la ve del bloque de cilindros fluirá a través de la carcasa del termostato a los núcleos de los postenfriadores (aftercooler core) a ambos lados del motor. De esta manera el refrigerante caliente, calentará el aire de admisión y ayudará a reducir el humo blanco.

El termostato LTA empieza a abrirse a 165F (74 °C) y estará totalmente abierto a 185F (85 °C), a ésta temperatura todo el flujo de refrigerante del LTA irá a través del radiador antes de ser distribuido a los núcleos de los postenfriadores (aftercooler core), de esta manera se consigue enfriar el aire de admisión.

2.1.4 Sistema de Admisión y Escape

El motor K2000E es turbocargado y postenfriado, teniendo dos etapas en el turbocargado y una solo etapa en el postenfriado. Con la doble etapa en el turbocargado se logra una mayor presión de aire de admisión.

2.1.4.1 Turbocargado de dos etapas

Las dos etapas en el turbocargado consiste en dos turbocargadores de marca Holset modelo HT100 para la primera etapa (baja presión) y dos turbocargadores de marca Holset modelo HC5A para la segunda etapa (alta presión). Este sistema de dos etapas permite alcanzar presiones de admisión de aire mucho mas elevadas que en el sistema de una sola etapa. En la figura 2.13 se aprecia la distribución de los turbocargadores, las líneas en color azul son de admisión de aire y las de color naranja son de gases de escape, se aprecian también los cuatro postenfriadores.

2.1.4.2 Múltiple de escape

El motor K2000E tiene un sistema de escape de diseño pulsante de alta eficiencia. El ensamble del múltiple en cada banco del motor, está

dividido en cuatro canales separados. Los cuales están dirigidos hacia la carcasa del turbocompresor de alta presión. La distribución del múltiple está diseñada de acuerdo al orden de encendido del motor.

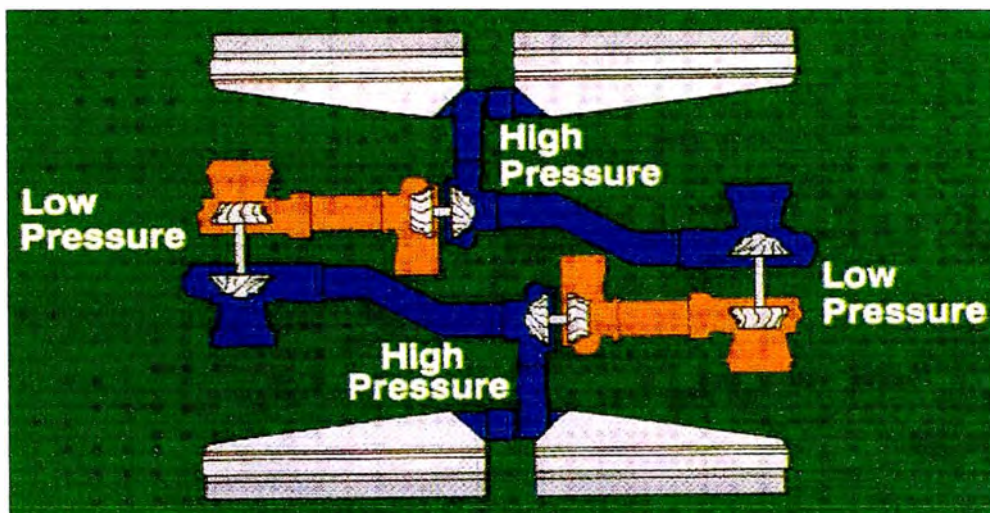


Fig. 2.13. Ubicación de los turbocargadores.

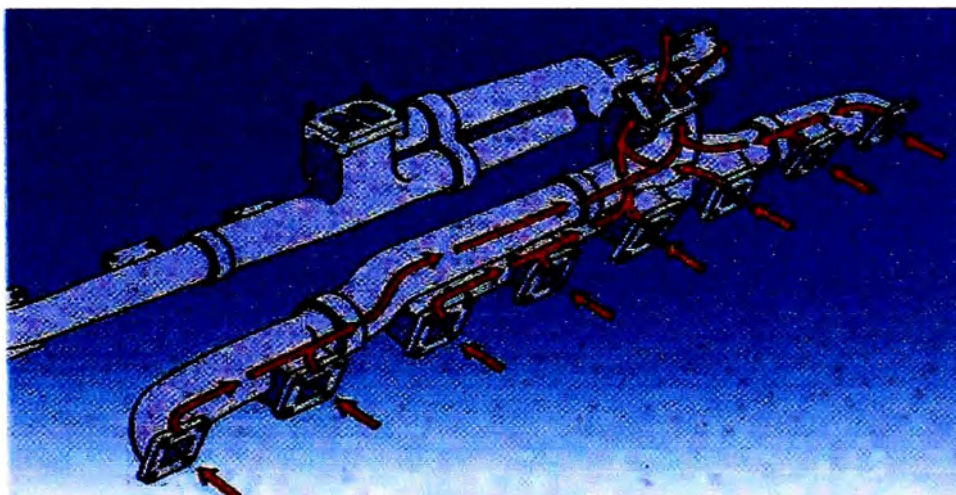


Fig. 2.14. Múltiple de escape.

El múltiple tipo pulsante no proporciona presiones de escape mas altas, si no que, al separar los cilindros de acuerdo al orden de encendido, la

energía del pulso de cada escape viajará a la carcasa de la turbina. Un buen diseño en el sistema de pulso otorga velocidades más consistentes de la rueda turbina del turbocompresor y mayor eficiencia al utilizar la energía del escape.

2.1.5 Análisis de aceite del Motor K2000E

En el camión 730E el motor utiliza el aceite Shell Rimula Super 15W40 cuyas características de rendimiento se indican a continuación:

- Ofrece la máxima protección y rendimiento en los últimos modelos de motores diesel de alta potencia.
- El aceite hace uso de aditivos para brindar una óptima protección contra el desgaste, espesamiento por hollín y corrosión en los ambientes severos.
- El aceite ha sido probado y ensayado en aplicaciones de campo, desde operaciones severas en minería y construcción hasta transporte pesado.
- El sistema mejorado de aditivos permite una mayor limpieza del motor y protección contra los depósitos del pistón.
- El aceite Shell Rimula Super 15W40 no representa ningún riesgo significativo para la salud o la seguridad cuando se usan apropiadamente en la aplicación recomendada.

En la tabla 2.1 se indica las características físicas del aceite.

Tabla N° 2.1. Características físicas del aceite Shell Rimula Super 15W40.

Grado SAE	15W40
Viscosidad @ 100°C , cSt	15
Punto de inflamación , °C	230
Punto de fluidez , °C	-30

En el laboratorio de análisis de aceite de Minera Barrick se analiza la muestra de aceite tomada del cárter del motor, el equipo encargado de calcular las partículas por millón (ppm) presentes en el aceite es el denominado **espectrofotómetro**, la cantidad de ppm de un determinado metal en la muestra nos indica el desgaste de algunos de los componentes internos del motor. Dichos valores de metales de desgaste tienen mínimos y máximos permisibles a los cuales se les denominan límites condinatorios para un aceite que ha trabajado durante 250 horas, los límites condinatorios de los principales elementos de desgaste se muestran en la tabla 2.2.

Tabla N° 2.2. Límites condinatorios del aceite Shell Rimula Super 15W40.

Parámetro	Límite inferior	Límite superior
Viscosidad a 100°C (cSt)	12.2	15.5
Hollín (abs/0.1mm)	0.6	0.7
Dilución % Volumen	1	3
Agua % Volumen	0.1	0.5
Hierro (ppm)	30	45
Cromo (ppm)	5	8
Plomo (ppm)	8	12
Cobre (ppm)	25	40
Estaño (ppm)	5	8
Aluminio (ppm)	5	10
Silicio (ppm)	15	25

2.1.6 Monitoreo del motor con el software CENSE

El motor K2000E tiene un software de monitoreo de parámetros llamado CENSE, el cual es útil para pronósticos y diagnósticos del motor,

con el objetivo de mejorar la confiabilidad del motor y reducir los costos por falla catastrófica. Esto se logra con el monitoreo constante de las condiciones de operación de los diferentes sistemas del motor. El CENSE alerta en un principio al operador, para que éste detenga el camión, apague el motor de una forma segura y finalmente comunique la alarma.

2.1.6.1 Componentes del CENSE

El CENSE está compuesto por los siguientes componentes:

- Un Módulo de Control Electrónico (ECM).
- Diversos sensores.
- Un cableado (Harness) que enlaza a los sensores con el ECM, además de proveer los puertos de comunicación.
- Una herramienta de servicio (Software) llamado Insite CENSE, para configurar y extraer la información contenida en el ECM.



Fig. 2.15. Componentes del CENSE.

2.1.6.2 Principios de operación del CENSE

El sistema CENSE realiza las siguientes funciones:

- Monitorea parámetros claves del motor, alertando al operador de inminentes problemas.
- Realiza diagnósticos, direccionando la herramienta de servicio (Insite CENSE) a un área específica donde se encuentra el problema, esto se logra basado en los parámetros medidos.
- Apoya en el mantenimiento del motor suministrando información del estado de operación del motor, permitiendo predecir la durabilidad del motor basado en la tendencia de los parámetros medidos.
- Las señales de los sensores instalados en los diversos sistemas del motor son enviadas al ECM por medio del harness.
- El ECM almacena datos de tendencia para posteriores análisis.
- El ECM también realiza diagnóstico del estado del motor en tiempo real. Si una falla es detectada el operador será alertado por lámparas en la cabina u otro medio instalado por el OEM.

2.1.6.3 Parámetros de monitoreo mediante el CENSE

Se ha desarrollado un formato de PM Clinic denominado “**PM Clinic Motor 730E**” el cual se puede ver en el anexo A, dicho PM Clinic es realizado como parte del mantenimiento predictivo que se realiza a los motores. A continuación se describen algunos de los parámetros mas importantes del motor y en la figura 2.16 se aprecian éstos parámetros en la sección de Trend Data (data de tendencia) del CENSE.

- Engine speed (velocidad del motor).
- Oil rifle pressure (presión de aceite en el riel).
- Blowby pressure (presión de gases de cárter).
- Coolant temperature (temperatura de refrigerante).
- Coolant pressure (presión de refrigerante).
- Exhaust temperature (temperatura de gases de escape).
- Intake manifold pressure (presión en el múltiple de admisión).
- Intake manifold temperature (temperatura en el múltiple de admisión).

Trend Data				
	Date :	14-04-10	14-04-10	14-04-10
	Real Time :	08:27:25 a.	08:38:54 a.	08:41:54 a.
	Engine Rebuild Hours :	6622.1611	6622.1934	6622.2432
Oil Pressure		29.25 psig	30.97 psig	38.89 psig
Oil Filter Differential Pressure		1.58 psig	1.22 psig	2.06 psig
Engine Oil Temp		187.2 F	172.2 F	172.5 F
Engine Coolant Temp		170.50 F	166.00 F	164.75 F
Coolant Pressure		5.14 psig	5.14 psig	7.48 psig
Compressor Inlet Temp RB		58.25 F	65.50 F	55.50 F
Ambient Pressure		9.02 psia	9.02 psia	9.05 psia

Fig. 2.16. Parámetros de monitoreo del CENSE.

2.1.7 Eventos del motor diésel que fueron encontrados mediante el mantenimiento predictivo

A continuación vamos a mencionar algunos problemas que se observaron en los motores K2000E y que fueron observados y resueltos gracias al mantenimiento predictivo.

2.1.7.1 Elevada presión blowby (presión de gases en el cárter)

La presión blowby es un parámetro importante que nos indica el grado de hermeticidad de cada pistón con su cilindro, la presión es medida en la salida de los gases del cárter, el denominado “respiradero”. Cuando existe elevada presión blowby, puede ser un indicativo que exista demasiado desgaste en los anillos de los pistones y/o fractura de alguno de los pistones.

- **Evento encontrado:** El 09-May-07 el operador del camión 730E N°06 reportó que se había encendido la luz de emergencia de parada de motor, cuando se procedió a descargar la información del CENSE se pudo apreciar que estaba activo el código 555 High Blowby Pressure (Alta presión blowby). Dicho evento había grabado un snapshot ⁽²⁾ con los parámetros de monitoreo y se observó que la presión blowby tenía valores de 19.19 in H₂O, muy superior al límite máximo permisible de 13.0 in H₂O, tal como se muestra en la figura 2.17. Además se realizó una gráfica con los datos del snapshot y se pudo apreciar que la presión blowby estaba con valores cercanos a cero y rápidamente en solo 16 segundos se elevó hasta 19.19 in H₂O, de esto se deduce que la falla de algún componente interno del motor se produce de manera casi inmediata.

- **Trabajo realizado:** Se realizó el PM Clinic del Motor, y se midió físicamente la presión blowby, se observó que el manómetro de columna de agua indicaba valores similares a los registrados por el

(2) Un snapshot en el software CENSE es una radiografía de los parámetros de monitoreo que se graban cuando algún evento se activa.

Snapshot Data - High Blowby Pressure

Fault Code : 555		Status : Active		Count : 1	
Engine Rebuild Hours : 14596.8438		Time Stamp : 09-05-07 04:44:!			
Sensor :	-00:00:02	-00:00:01	00:00:00		
Engine Speed	1979 rpm	2022 rpm	2000 rpm		
Brake Horsepower	1808.00	1861.00	1761.00		
Instantaneous Engine Load	83.5 %	79.0 %	72.0 %		
% Accelerator Pedal	98.4 %	97.6 %	96.8 %		
Injector Metering Rail Press	157.50 psig	151.20 psig	134.00 psig		
Crankcase Pressure	18.77 in H2O	19.19 in H2O	18.19 in H2O		
Intake Manifold Pressure LB	33.83 psig	33.33 psig	31.88 psig		
Intake Manifold Pressure RB	32.97 psig	32.61 psig	31.44 psig		

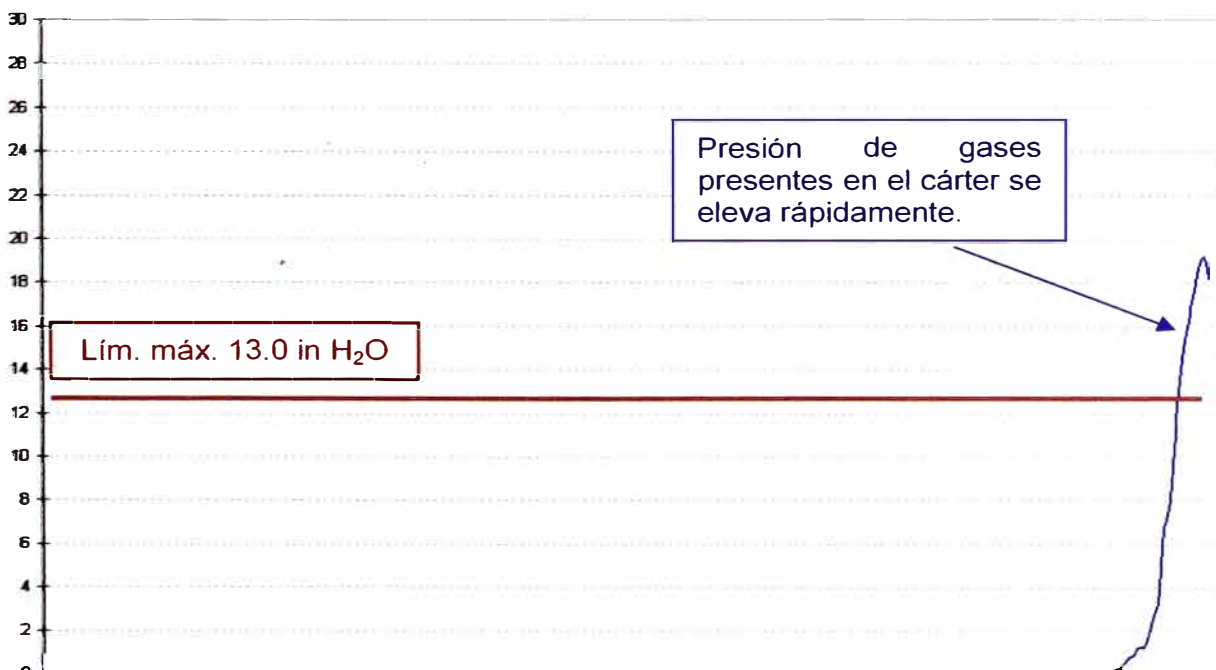


Fig. 2.17. Código de motor 555, High Blowby Pressure.

CENSE, esto indicaba que por uno o varios cilindros del motor se había perdido la hermeticidad. Con todo lo encontrado se decidió cambiar el motor para evitar una falla catastrófica.

2.1.7.2 Alta restricción en filtros de aceite motor

El motor diesel tiene tres filtros de aceite, los cuales van montados en un cabezal, dicho cabezal tiene en su sección de entrada y salida sensores de presión de aceite. El sensor de la sección de entrada mide la presión de aceite sin filtrar y el sensor de la sección de salida mide la presión de aceite filtrado, la diferencia de estas presiones nos indica el grado de saturación de los filtros, que no debe ser mayor a 10 psi.

- **Evento encontrado:** El 21-Mar-10 el operador del camión 730E N°09 reportó que se había activado la luz de revisión de motor diesel, se descargó la data del CENSE y estaba activo el código 612 High Lube Filter Restriction (Alta restricción de los filtros de lubricación), en la data del snapshot dicha restricción era de 17.42 psi lo cual indicaba un alto grado de contaminación de los filtros. La contaminación provenía del desgaste interno del motor tal como se observa en los análisis de aceite de la figura 2.18, aquí se observa que el cobre había llegado a 120 ppm, nivel muy superior al máximo permisible de 40 ppm.

- **Trabajo realizado:** Con el snapshot mostrado en el CENSE se realizó la medición en físico de las presiones de entrada y salida, se encontró

Snapshot Data - High Lube Filter Restriction

Fault Code : 612	Status : Active	Count :	
Engine Rebuild Hours : 6399.1299	Time Stamp : 21-03-10 05:5		
Sensor :	-00:00:02	-00:00:01	00:00:00
Pre Oil Filter Pressure	93.64 psig	97.42 psig	92.05 psig
Oil Pressure	76.20 psig	79.98 psig	75.34 psig
Oil Filter Differential Pressure	17.42 psig	17.42 psig	16.70 psig
Engine Oil Temp	140.2 F	140.2 F	140.2 F
Engine Coolant Temp	142.50 F	142.50 F	142.50 F
Coolant Pressure	18.91 psig	20.92 psig	18.64 psig
Compressor Inlet Temp RB	58.50 F	57.75 F	57.75 F
Ambient Pressure	9.05 psia	9.05 psia	9.05 psia


9	8C5109 730E#9	Sábado .07 de Agosto		
56	Motor		<input checked="" type="checkbox"/> ÚLTIMAS	25 <input type="text"/>
				CAPACIDAD: 56 TOTAL 35 PULS
Campo	31497	31402	31303	31295
Fecha de muestreo	01-Abr-2010	01-Abr-2010	29-Mar-2010	24-Mar-2010
Horas A	0	0	0	0
Horas B	33364	33357	33340	33280
Horas C	33364	33357	33340	33280
Horas del aceite Rellenos	7	17	60	188
Producto Usado	Rimula Super 15W40	Rimula Super 15W40	Rimula Super 15W40	Rimula Super 15W40
Accion a tomar	OV	C	C	M
Viscosidad a 100 °C (cSt)	14.76	14.4	15.32	14.40
Diesel (%)	0	0	0	0
Agua (% V)	0	0	1.35	0
ZnDTP (Abs/0 lmm)	0.00	0.00	-0.05	0
Hierro (ppm)	2	3	5	4
Cromo (ppm)	1	1	1	1
Plomo (ppm)	2	4	8	3
Cobre (ppm)	7	59	120	21
Estañio (ppm)	0	0	0	0
Aluminio (ppm)	1	1	1	1

Fig. 2.18. Código de motor 612, High Lube Filter Restriction.

valores similares al CENSE, se procedió a cambiar los filtros y el aceite de motor con el objetivo de que el motor trabaje en un mejor nivel de limpieza, pero nuevamente al día siguiente se presentó la misma falla y por ello se decidió cambiar el motor diesel. Si el motor continuaba trabajando con alta contaminación se hubiera generado mayor desgaste interno y se generaría alguna falla mayor.

2.1.7.3 Baja temperatura de gases de escape en cilindro 7RB

El motor diesel tiene un inyector de combustible para cada cilindro, además existe un sensor para cada cilindro que monitorea la temperatura de gases de escape, cuando existe algún valor de temperatura que se encuentra muy por encima o muy por debajo del promedio puede estar indicando alguna deficiencia en el inyector.

- **Evento encontrado:** El 21-Jul-10 el operador del camión 730E N°08 reportó un evento del CENSE y estaba activo el código 637 Low Power – Cylinder N° 7 Right Bank (Baja temperatura en cilindro 7RB), en la data de tendencia se pudo apreciar que con motor a máxima carga la temperatura de dicho cilindro era de 788 F, mientras que en el resto de cilindros la temperatura era mayor a 1,000 F. También se pudo apreciar que en el cilindro 8RB la temperatura estaba en 931 F tal como se aprecia en la figura 2.19.

Trend Data				
	Date :	21-07-10	21-07-10	21-07-10
	Real Time :	12:18:04 p.	12:20:34 p.	12:23:04 p.
	Engine Rebuild Hours :	858.8422	858.8839	858.9255
Exhaust Port Temp #8 LB		859.0 F	446.0 F	999.0 F
Exhaust Port Temp #1 RB		875.0 F	417.8 F	1050.2 F
Exhaust Port Temp #2 RB		910.2 F	500.0 F	1038.0 F
Exhaust Port Temp #3 RB		947.8 F	498.0 F	1081.0 F
Exhaust Port Temp #4 RB		985.0 F	623.0 F	1098.0 F
Exhaust Port Temp #5 RB		894.0 F	491.2 F	1048.0 F
Exhaust Port Temp #6 RB		894.0 F	432.5 F	1065.0 F
Exhaust Port Temp #7 RB		701.8 F	450.0 F	788.0 F
Exhaust Port Temp #8 RB		786.0 F	413.2 F	931.0 F



Fig. 2.19. Falla en inyectores de combustible.

- **Trabajo realizado:** Se cambió los sensores de temperatura de los cilindros 7RB y 8RB para descartar fallas en los mismos, se monitoreó

el motor y se observaron valores similares, se determinó entonces cambiar los dos inyectores y la respectiva calibración de válvulas e inyectores en dichos cilindros. Luego de estos cambios los valores de temperaturas se mantuvieron dentro del promedio. Cuando algún cilindro trabaja en baja temperatura ocurre que el pistón no hermetiza correctamente con su cilindro y esto trae como consecuencia que el combustible mal pulverizado desplace al aceite de lubricación que hay entre la superficie externa del pistón e interna del cilindro generando así una mayor fricción y mayor desgaste.

2.2 Alternador principal General Electric GTA22

El camión Komatsu 730E tiene un Alternador General Electric GTA22 acoplado directamente al Motor Diesel, este básico concepto de mando eléctrico elimina los embragues y transmisiones que se encuentran en camiones con mandos mecánicos, el propósito del acople Motor-Alternador es convertir la energía mecánica del motor en energía eléctrica. La salida del alternador es trifásica AC. Luego es rectificadora hacia DC mediante el panel rectificador y luego es utilizada para dar energía a los Motores de Tracción que impulsan el camión. En la figura 2.20 se observa el Alternador.

El Alternador por sus devanados principales suministra la energía a las armaduras de los motores de tracción. Por sus devanados terciarios alimenta a los excitadores estáticos. Mediante un ventilador en línea proporciona ventilación a los motores, equipo de control y para si mismo.

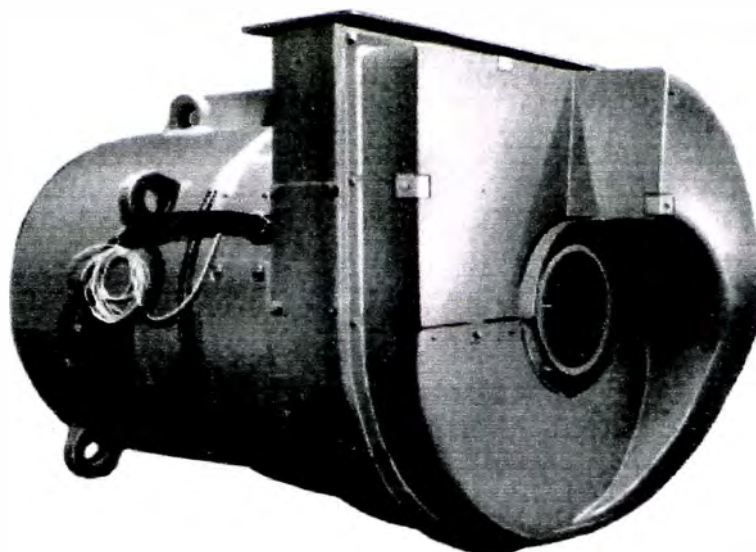


Fig. 2.20. Alternador principal.

2.2.1 Excitador estático de campo del Alternador (AFSE)

El AFSE (Alternator Field Static Excitatory) se utiliza para regular la corriente inductora del campo del alternador. Los pulsos de disparo desde el panel FL275 regulan el ángulo de disparo de los SCR's y salida del panel en forma sincronizada por medio de un transformador conectado al terciario del alternador.

El módulo GFM recibe los pulsos desde la tarjeta análoga del panel FL275. La salida de este módulo se aplica al transformador de pulsos, el cual dispara los SCR's del AFSE.

Dentro del AFSE se encuentra el circuito Battery boost que consiste en proveer una excitación inicial al campo del alternador utilizando la batería del camión por medio del SCR3, esta excitación inicial sirve para movilizar al camión luego de haber estado detenido.

También existe el circuito crowbar cuya función es la de proteger el campo del alternador de picos de tensión capaces de dañarlo, cortocircuitándolo por medio del SCR4.

2.3 Motor de Tracción General Electric GE788

El camión Komatsu 730E tiene dos motores de tracción DC (direct current) ventilados con aire, que convierte la energía eléctrica proveniente del Alternador Principal en energía mecánica. Esta energía mecánica es transmitida hacia las ruedas a través de un tren de engranajes. Los componentes principales del motor de tracción son: el frame, el piñón solar, los engranajes planetarios, la armadura, el cubo de la rueda y el tube torque.

El torque motor es transmitido desde el motor eléctrico hacia el pinón solar, que está alineado hacia el final del eje de la armadura. Los tres engranajes planetarios están conducidos por el piñón solar, y engranan con el engranaje interno del tube torque.

El tube torque está empernado hacia el cubo de la rueda para formar un conjunto rotatorio. El cubo de la rueda proporciona la superficie de montaje de los neumáticos.

2.3.1 Funcionamiento del Motor de Tracción

En modo motor, la energía eléctrica aplicada hacia el motor de tracción de cada rueda es convertida en energía mecánica con la rotación de la armadura que hace girar las ruedas a través del conjunto de los engranajes

planetarios. El torque motor es amplificado a través de la relación de transmisión del conjunto piñón solar/engranajes planetarios.

En modo de retardo (el medio principal de reducción de velocidad del camión), la energía mecánica de movimiento del camión es convertida en energía eléctrica para el motor de tracción, que ahora trabaja como un generador. Esta energía eléctrica es disipada en forma de calor a través de las parrillas⁽³⁾ de retardo.

En la figura 2.21 se muestra del motor de tracción y sus partes internas.

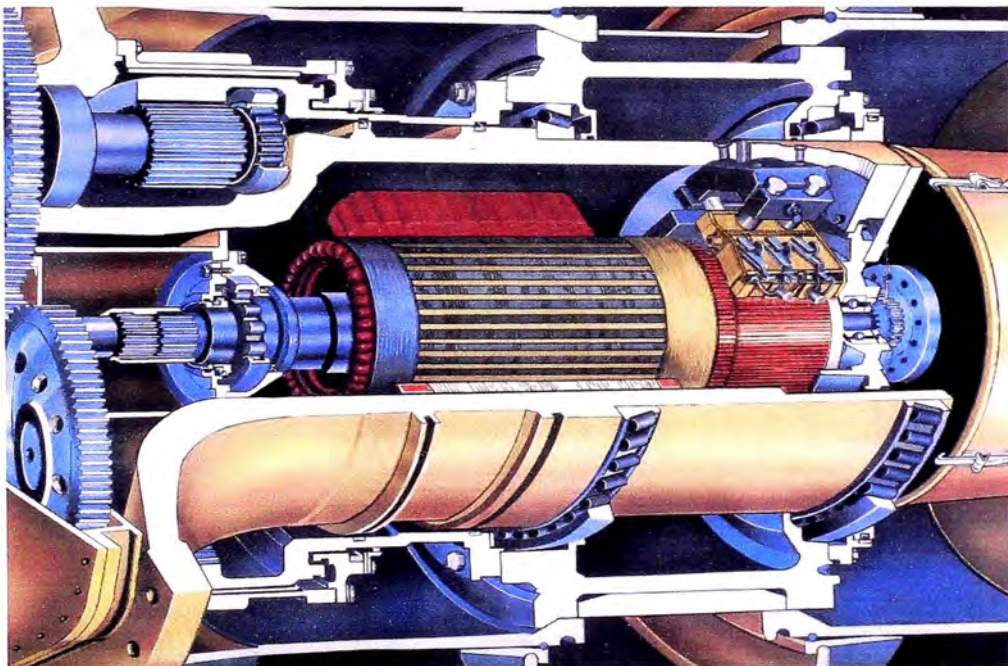


Fig. 2.21. Vista interna del motor de tracción.

En la figura 2.22 se muestra un esquema de la relación de transmisión del conjunto piñón solar/engranajes planetarios, se aprecian los siguientes componentes: (2) engranaje planetario, (15) cubo de la rueda, (30) anillo de empuje, (37) anillo, (46) piñón solar, (47) tapa del piñón solar. En la figura

(3) Las parrillas de retardo son resistencias que reciben la corriente de los motores de tracción cuando éste trabaja en modo generador, esto ocurre cuando el operador presiona el pedal de retardo.

solo se aprecia un engranaje planetario pero en realidad son tres engranajes que engranan con el piñón solar.

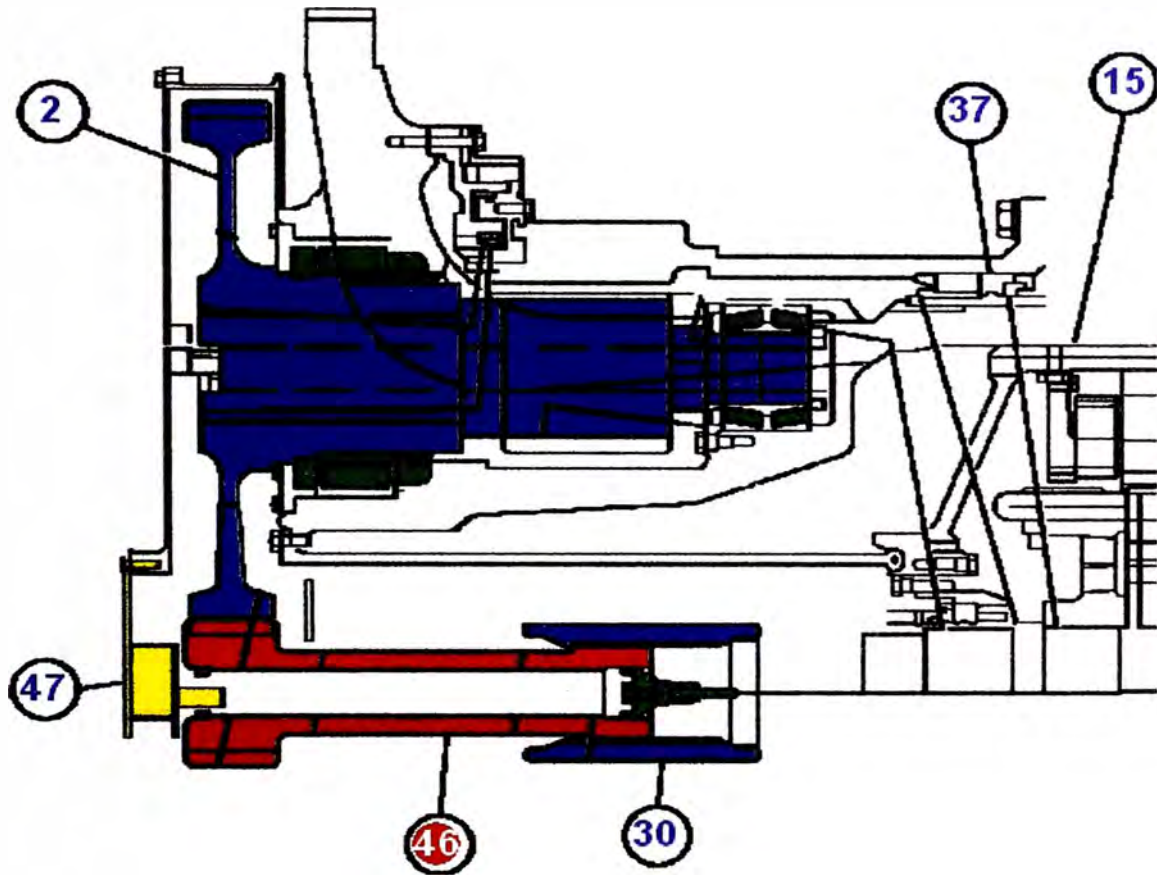


Fig. 2.22. Relación de transmisión del motor de tracción.

Algunas características físicas del motor de tracción se detallan a continuación:

- Máxima velocidad : 2,350 RPM
- Tipo de excitación : Motor de excitación separada, 4-polos
- Impedancia de campo de excitación (4 bobinas en serie) – 12 amps. : 87 – 99 Ω
- Impedancia de campo de conmutación (4 bobinas en serie) – 24 amps. : 6.8 – 7.5 Ω

- Juego axial de engranaje planetario : máx. 0.04 in.
- Backlash de engranaje planetario : máx. diferencia 0.1 in.
- Radio de giro : 26.825:1
- Dimensiones de neumático : 37 x 57
- Flujo de aire requerido para enfriamiento : 2,800 ft³/min.

2.3.2 Excitador estático de campo del Motor (MFSE)

El excitador estático de campo del motor es utilizado para regular la corriente inductora del campo del motor de tracción, de esta manera regula la corriente de la armadura. En la figura 2.23 se aprecia el excitador estático 17FM467.

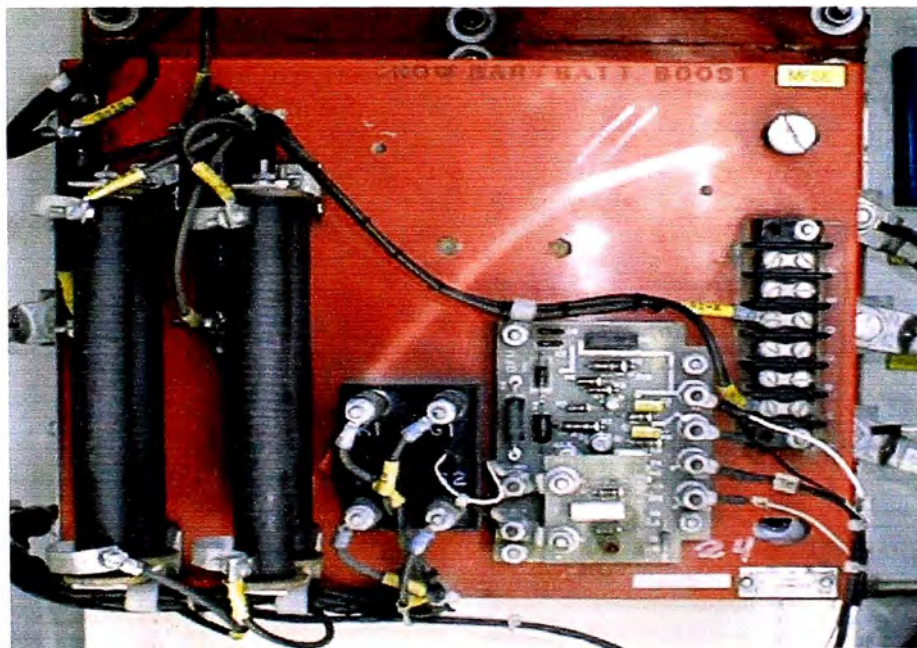


Fig. 2.23. Excitador estático de campo del motor de tracción.

2.3.3 Parrillas de frenado o retardo

- Son dispositivos de bajo valor ohmico pero de alta potencia empleados para disipar el calor desarrollado durante el retardo dinámico.
- Inicialmente en el retardo toda la resistencia está en el circuito. A medida que el camión desacelera se accionan los contactores de rango extendido, cortocircuitando porciones de la resistencia total para mantener la corriente de armadura alta.
- El camión 730E tiene 14 parrillas de retardo, divididas a 7 por cada lado.

En la figura 2.24 se muestra una parrilla de retardo.

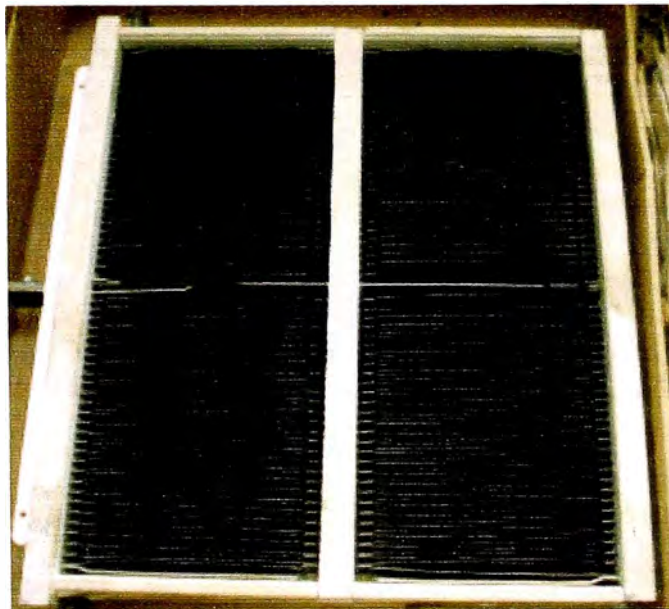


Fig. 2.24. Parrilla de retardo.

2.3.4 **Blower o ventilador de parrillas**

- Los blower son motores de corriente continua con excitación en serie que enfrían las parrillas de frenado durante el retardo.
- Funcionan en base a la caída de tensión desarrollada entre las parrillas a medida que fluye la corriente de retardo.
- El camión 730E tiene 2 blower, cada uno del cual enfría a 7 parrillas de retardo.

En la figura 2.25 se muestra el blower.

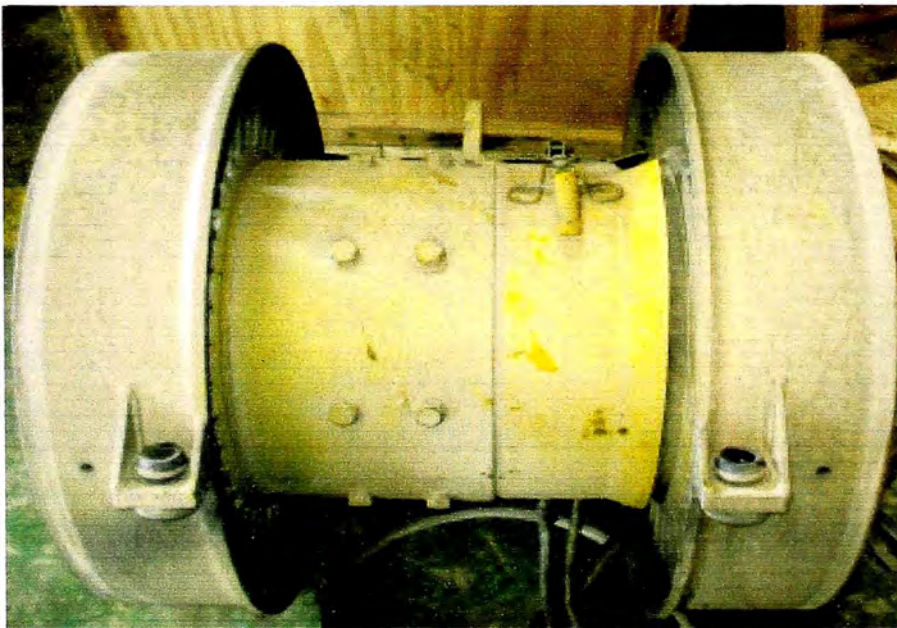


Fig. 2.25. Blower de parrillas.

2.3.5 **Contactores**

- Son interruptores capaces de conducir altas corrientes y aislar altos voltajes.

- Los contactores de propulsión P1 y P2 conectan el circuito de potencia al rectificador principal durante la propulsión.
- Los contactores de retardo RP habilitan el sistema de frenado durante el retardo dinámico.
- Los contactores de campo MF y GF conectan los campos de los motores de tracción y el alternador a sus respectivos excitadores estáticos.

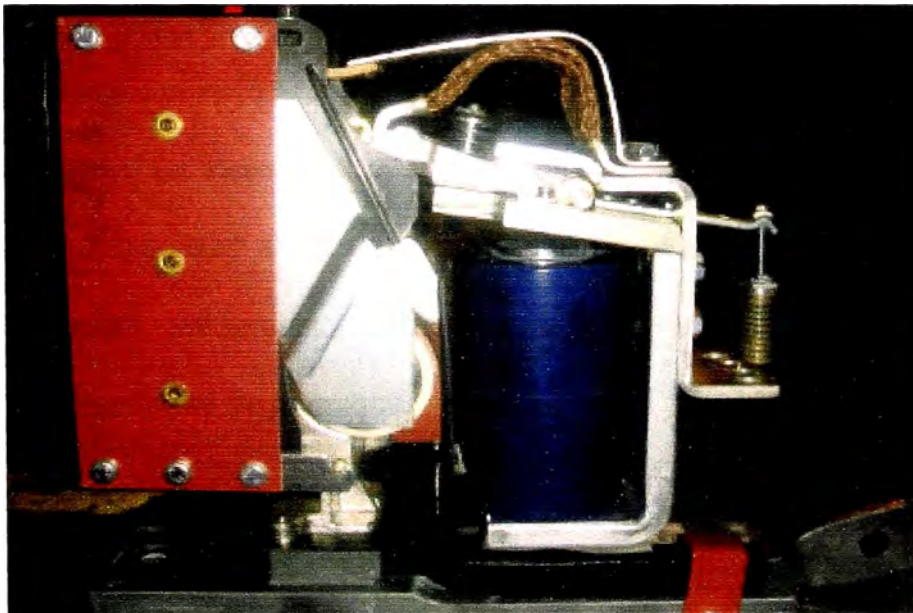


Fig. 2.26. Contactor de retardo RP.

2.3.6 Análisis de aceite del Motor de Tracción

En el camión 730E los planetarios del motor de tracción son lubricados con aceite Shell Hyperia S 680 cuyas características de rendimiento se indican a continuación:

- Es uno de los pocos productos aprobados y recomendados por General Electric para su uso en la caja de engranajes de los Motores de Tracción.

- Proporciona altos niveles de capacidad de carga aún bajo severas condiciones. Esto otorga beneficios sobre los productos minerales en términos de duración de engranajes y rodamientos.
- Resiste la formación de productos dañinos de oxidación a altas temperaturas de servicio, mejorando la limpieza del sistema y por lo tanto la confiabilidad del equipo.
- La característica de larga vida del lubricante ofrece la oportunidad de extender el intervalo de servicio y de reducir los costos de mantenimiento.
- Ofrece un mejor rendimiento a baja temperatura y reducido cambio en la viscosidad al incrementarse la temperatura en comparación a los aceites minerales. Esto brinda una mejor lubricación a baja temperatura de arranque.

En la tabla 2.3 se indica las características físicas del aceite.

Tabla N° 2.3. Características físicas del aceite sintético Hyperia S 680.	
Grado de viscosidad ISO	680
Viscosidad @ 100°C , cSt	61.2
Punto de inflamación , °C	273
Punto de fluidez , °C	-42

Los límites condenatorios de los principales elementos de desgaste se muestran en la tabla 2.4, dichos límites corresponden a un aceite que ha trabajado durante 250 horas. Cuando alguno de los valores supera el límite superior es un indicativo de desgaste interno.

Tabla N° 2.4. Límites condenatorios del aceite Shell Hyperia S 680.

Parámetro	Límite inferior	Límite superior
Viscosidad a 100°C (cSt)	54	65
Agua % Volumen	0.5	0.05
Hierro (ppm)	40	80
Cromo (ppm)	4	8
Plomo (ppm)	2	6
Cobre (ppm)	8	15
Estaño (ppm)	20	35
Aluminio (ppm)	6	10
Silicio (ppm)	20	35

2.3.7 Monitoreo del motor de tracción con el Software STATEX III

El motor de tracción es monitoreado mediante el STATEX III, el cual es útil para diagnósticos de operación de los parámetros analógicos y digitales del motor de tracción, con el objetivo de mejorar su confiabilidad.

2.3.7.1 Parámetros de monitoreo mediante el STATEX III

En la figura 2.27 se aprecia una vista de monitoreo en tiempo real, se muestra algunos valores analógicos (Analog Values), dichos valores se capturan mediante sensores, amperímetros, voltímetros, potenciómetros, etc. para luego ser enviados a la tarjeta análoga 17FB140, a continuación se detallan algunos de los parámetros:

- GFAULT: Corriente de fuga de falla a tierra.
- ALT-NHP: Potencia de entrada al alternador principal.
- MF-I: Corriente de campo del motor de tracción.
- ALT-V: Voltaje de salida del alternador principal.
- M1-I: Corriente de armadura del motor de tracción izquierdo.
- M2-I: Corriente de armadura del motor de tracción derecho.

- **ENGSPD:** Velocidad del motor diesel.
- **RSC-MPH:** Ajuste del control de velocidad de retardo.
- **RPINHI:** Porcentaje de aplicación del pedal de retardo.
- **M1-SPD:** Velocidad del motor de tracción izquierdo.
- **M2-SPD:** Velocidad del motor de tracción derecho.
- **M1DEG:** Temperatura del motor de tracción izquierdo.
- **M2DEG:** Temperatura del motor de tracción derecho.

GFAULT	NF-I	M1-I	ENGEMD
0.0000	100 A	1000 rpm	1000 rpm
ALT-NHP	ALT-V	M2-I	ENGSPD
100.00	100 V	1000 A	1000 rpm
REQUEST	RSC-MPH	M1-SPD	M1DEG
100.00	100.00 mph	1000 rpm	100.00
FEEDBK	RPINHI	M2-SPD	M2DEG
100.00	0.00 %	1000 rpm	100.00

Fig. 2.27. Valores analógicos del STATEX III.

En la figura 2.28 se aprecia una vista de monitoreo en tiempo real de los valores digitales (Digital Inputs / Digital Outputs), dichos valores se capturan mediante switches, contactores, leds, etc. para luego ser enviados a las tarjetas digitales 17FB103 y 17FB104, a continuación se detallan algunos de los parámetros:

- **AS:** Demanda de aceleración.
- **RS:** Demanda del pedal de retardo.
- **P1FB:** Retroalimentación del contactor de propulsión P1.
- **GFFB:** Retroalimentación del contactor de campo del alternador GF.

- DBUP: Switch de levante de tolva.
- RP1FB: Retroalimentación del contactor de retardo RP1.
- RP2FB: Retroalimentación del contactor de retardo RP2.
- ACCINH: Demanda de inhibida la aceleración.
- MFFB: Retroalimentación del contactor de campo del motor de tracción MF.
- SRVBRKPSW: Switch de presión de freno de servicio.
- P1/P11: Contactor de propulsión P1.
- GF: Contactor de campo del alternador.
- GFR: Relé de campo del alternador.
- MF: Contactor de campo del motor de tracción.
- RP1/RP11: Contactor de retardo RP1.
- RP2/RP22: Contactor de retardo RP2.
- RETARD: Luz indicadora de retardo en la cabina.
- OVRSPD: Luz indicadora de sobre velocidad en la cabina.
- BLOWFAULT: Luz indicadora de falla de blower en la cabina.

Parameter	Value	Parameter	Value
DBUP	0	RP1/RP11	0
RP1FB	0	RP2/RP22	0
RP2FB	0	RETARD	0
ACCINH	0	OVRSPD	0
MFFB	0	BLOWFAULT	0
SRVBRKPSW	0		
P1/P11	0		
GF	0		
GFR	0		
MF	0		


Fig. 2.28. Valores digitales del STATEX III.

2.3.8 Eventos del motor de tracción que fueron encontrados mediante el mantenimiento predictivo

2.3.8.1 Alto contenido de hierro en motor de tracción izquierdo

El motor de tracción como parte mecánica es monitoreado sus engranajes planetarios, se ha creado un formato de inspección denominado “**Medición de juego axial y backlash de Planetarios**” el cual se puede ver en el anexo B, dicha inspección es realizada cada 2,500 horas o cuando exista la sospecha que el motor de tracción pueda fallar.

- **Evento encontrado:** El 01-Sep-08 se realizó el mantenimiento al camión 730E N°08, se procedió a analizar el aceite del motor de tracción izquierdo, y se observó que el contenido de hierro era de 44 ppm (superior al límite inferior de 40 ppm), de inmediato se determinó cambiar dicho aceite y realizar una limpieza al compartimiento con un aceite de menor grado, dicho procedimiento se le conoce con el nombre de **flushing**. Este componente estaba en estado de observación, luego el 17-Sep-08 nuevamente se analizó la muestra de aceite y con solo 355 horas de aceite el nivel de hierro llegó hasta 240 ppm (muy por encima del límite superior de 80 ppm), con este valor de hierro se evidenciaba que existía un desgaste interno en el componente. También se programó muestra de aceite para el 26-Sep-08, encontrándose 88 ppm en solo 189 horas de aceite, todos estos valores se aprecian en la figura 2.29.

8C5108 730E#8		Jueves , 06 de Enero		
Motor Traccion Izquierdo			<input checked="" type="checkbox"/> ULTIMAS	99 <input type="text"/> CAPACIDAD TOTAL 99 M
Campo	21379	21323	21157	20875
Fecha de muestreo	29-Sep-2008	26-Sep-2008	17-Sep-2008	01-Sep-2008
Horas A	0	0	0	0
Horas B	23691	23644	23455	23100
Horas C	23691	23644	23455	23100
Horas del aceite	236	189	355	2330
Rellenos				
Producto Usado	Hyperia 680	Hyperia 680	Hyperia 680	Hyperia 680
Accion a tomar	OV	M	C	C
Tipo PM	PM2	INP	PM1	PM4
Posicion	2	0	1	8
Viscosidad a 1"	64.71	64.09	64.03	64.21
Hierro (ppm)	208	88	240	44
Cromo (ppm)	0	0	0	0
Plomo (ppm)	0	0	0	0
Cobre (ppm)	1	0	1	0

Carnión	730E N°08			
Motor de Tracción	MT1		MT2	
Horas de trabajo	17,913.0		17,913.0	
Fecha de inspección	29-Sep-08		29-Sep-08	
Planetario	Juego Axial	Backlash	Juego Axial	Backlash
Izquierdo	0.38	3.05	0.30	2.57
Derecho	0.33	2.81	0.34	1.86
Superior	0.28	0.85	0.33	1.95

Fig. 2.29. Muestreo de aceite y mediciones al motor de tracción.

- **Trabajo realizado:** Por los altos valores de hierro encontrados en la muestra de aceite era evidente que internamente había un desgaste; por ello continuamente se estuvo analizando la muestra de aceite, se programó para el 29-Sep-08 la medición del juego axial y backlash de los engranajes planetarios para ambos motores de tracción según el procedimiento descrito en el anexo B. Los valores de dicha medida

están en la figura 2.29, donde se puede apreciar que para el motor de tracción izquierdo (MT1) y motor de tracción derecho (MT2) los valores de juego axial estaban por debajo del límite máximo de 1 mm. Para el MT1 la máxima diferencia de backlash era de 2.20 mm. que había entre los planetarios izquierdo y superior, en cambio para el MT2 la máxima diferencia de backlash era de solo 0.71 mm. Al comparar éstos valores de backlash se determinó que era necesario cambiar el motor de tracción izquierdo por los altos contenidos de hierro a pesar que su backlash no pasaba del límite máximo de 2.54 mm.

2.3.8.2 Alto desgaste en colector de motor de tracción izquierdo

En la parte eléctrica se realiza la medición a las delgas del colector para determinar la deformación o diferencia de alturas entre dos delgas continuas, esta medición se hace con el objetivo de eliminar la posibilidad que se produzcan los flash over⁽⁴⁾.

- **Evento encontrado:** Como parte del mantenimiento predictivo se programó medir las delgas del colector del camión 730E N°03, el 18-Ago-10 se realizó dichas medidas utilizando el equipo Profiler, las medidas se muestran en la figura 2.30. Se puede apreciar que el TIR en ambos colectores está por debajo del límite máximo de 6 mil. de pulg. En el caso del MBTB en las tres pistas del motor de tracción izquierdo es muy superior a sus similares del motor de tracción

(4) El flash over es un chisporroteo que se puede ocasionar por alto desgaste de la superficie del conmutador.

Camión		730E Nº03	
Motor de Tracción		MT1	MT2
Horas de trabajo		12,257.0	12,257.0
Fecha de inspección		18-Ago-10	18-Ago-10
TIR ⁽⁵⁾ (< 6 mil. ")	Pista 1	1.93	1.23
	Pista 2	2.17	0.63
	Pista 3	2.21	0.79
MBTB ⁽⁶⁾ (< 1 mil. ")	Pista 1	0.67	0.16
	Pista 2	0.87	0.19
	Pista 3	0.91	0.20

Fig. 2.30. Medidas de las delgas del colector.

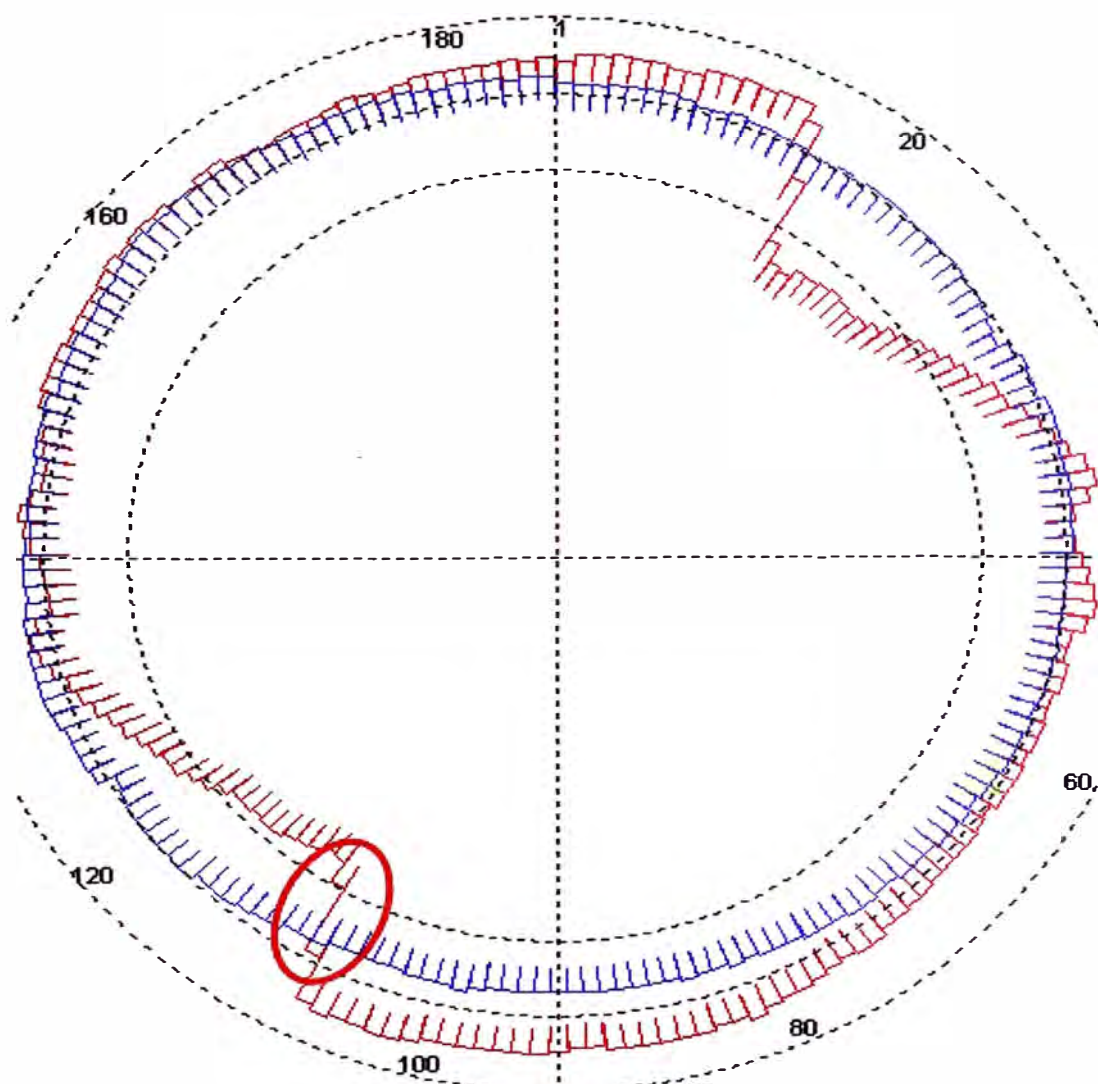


Fig. 2.31. Gráfica radial. Color rojo : MT1, color azul : MT2

(5) TIR (Total Indicated Roundout) es la máxima diferencia entre todas las delgas del conmutador.

(6) MBTB (Maximum bar to bar) es la máxima diferencia entre dos delgas continuas del conmutador.

derecho pero en ningún caso supera el límite máximo de 1 mil. de pulg. La gráfica radial comparativa entre las medidas de ambos colectores está en la figura 2.31 donde se puede apreciar que la gráfica en color azul que corresponde al MT2 sigue una circunferencia casi perfecta, pero la gráfica en color rojo que corresponde al MT1 presenta muchas imperfecciones, dichas imperfecciones llegaron hasta 0.91 mil. de pulg.

- **Trabajo realizado:** Luego de realizada las mediciones de determinó cambiar en el siguiente mantenimiento programado la armadura izquierda debido a que el valor del MBTB estaba en 0.91, que es un valor muy cercano al límite máximo de 1.

2.4 Sistema de operación y control STATEX III

El sistema STATEX III del camión realiza las siguientes operaciones:

- El STATEX III es un sistema controlado mediante microprocesador que regula las operaciones de propulsión y retardo del camión.
- El control del equipo se realiza mediante el panel electrónico 17FL275.
- Monitorea las señales de entrada del operador.
- Monitorea la retroalimentación del sistema y calcula una respuesta.
- Inicia la acción de control apropiada.
- Establece el circuito de propulsión y de retardo para conectar las parrillas de retardo.
- Controla la sobre velocidad del camión vacío y cargado.

- Controla el límite de corriente en propulsión y en retardo, además controla la velocidad de retardo.
- Inicia las restricciones operativas necesarias, tales como: paralizar el camión, encender luces indicadoras y registrar eventos de falla.
- Muestra información de eventos de falla en panel de presentación de dos dígitos.
- Realiza rutinas de autocomprobación de diagnóstico: automáticas y manuales.
- Genera un registro histórico de datos estadísticos: contadores y perfiles.

4.1 Componentes del STATEX III

En la figura 2.32 se muestra un componente del STATEX III, además está compuesto por los siguientes componentes:

- Tarjeta fuente de poder FB100, tarjeta procesadora central FB144, tarjeta análoga FB140, y tarjetas digitales FB103 y FB104.
- Diversos sensores, amperímetros y voltímetros.

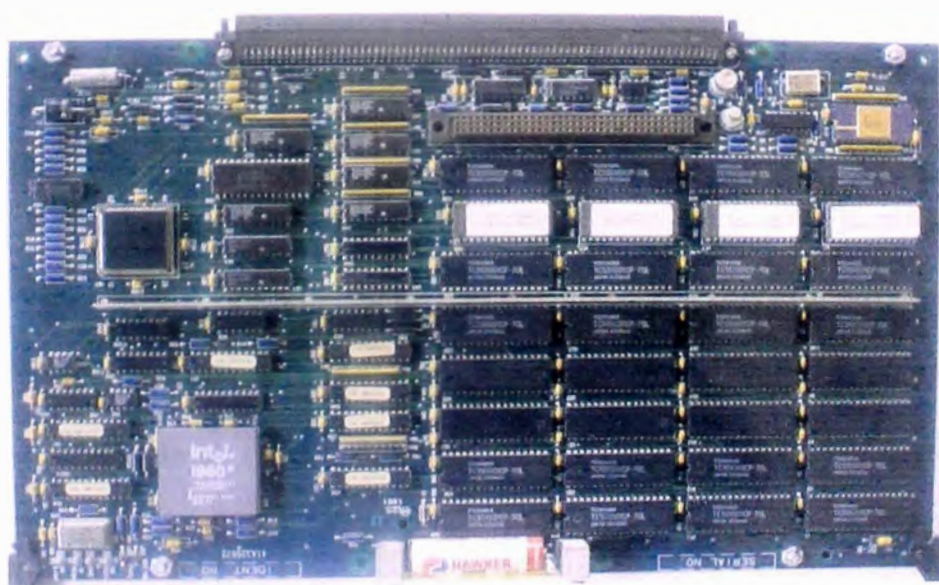


Fig. 2.32. Tarjeta procesadora central FB144.

- Varios cableados que enlazan a los sensores, amperímetros y voltímetros con sus respectivas tarjetas, además de proveer los puertos de comunicación.
- Una herramienta de servicio (Software) llamado wPTU DC, para configurar y extraer la información contenida de la tarjeta FB144.

2.4.2 Principio de funcionamiento del STATEX III

A continuación vamos a describir el principio de funcionamiento del STATEX III mediante un diagrama de bloques mostrado en la figura 2.33.

1. El operador presiona el acelerador y el sistema regula la velocidad del motor, estableciendo además los circuitos de propulsión.
2. El motor envía una señal de velocidad al sistema para una referencia de aceleración y controla la demanda de potencia. El sistema responde a las señales de los pedales de aceleración y retardo; los cuales se procesan y son devueltas al sistema generando las señales de control de los paneles excitadores para la propulsión y/o retardo del camión.
3. La señal de salida de la tarjeta análoga es un tren de pulsos de amplitud y frecuencia constante sincronizado con la corriente de los terciarios del alternador. Los pulsos de disparo son generados de acuerdo a la demanda del operador y retroalimentación controlando la corriente de campo del alternador y los motores de tracción.
4. La corriente de salida del excitador del Alternador (AFSE) energiza el campo del alternador estableciendo así el voltaje en la salida del

alternador, de esta manera se produce la energía necesaria para romper la inercia inicial del camión.

5. La corriente de salida del excitador de los motores de tracción (MFSE) energiza el campo de los motores de tracción estableciendo así la corriente necesaria para la tracción del camión.

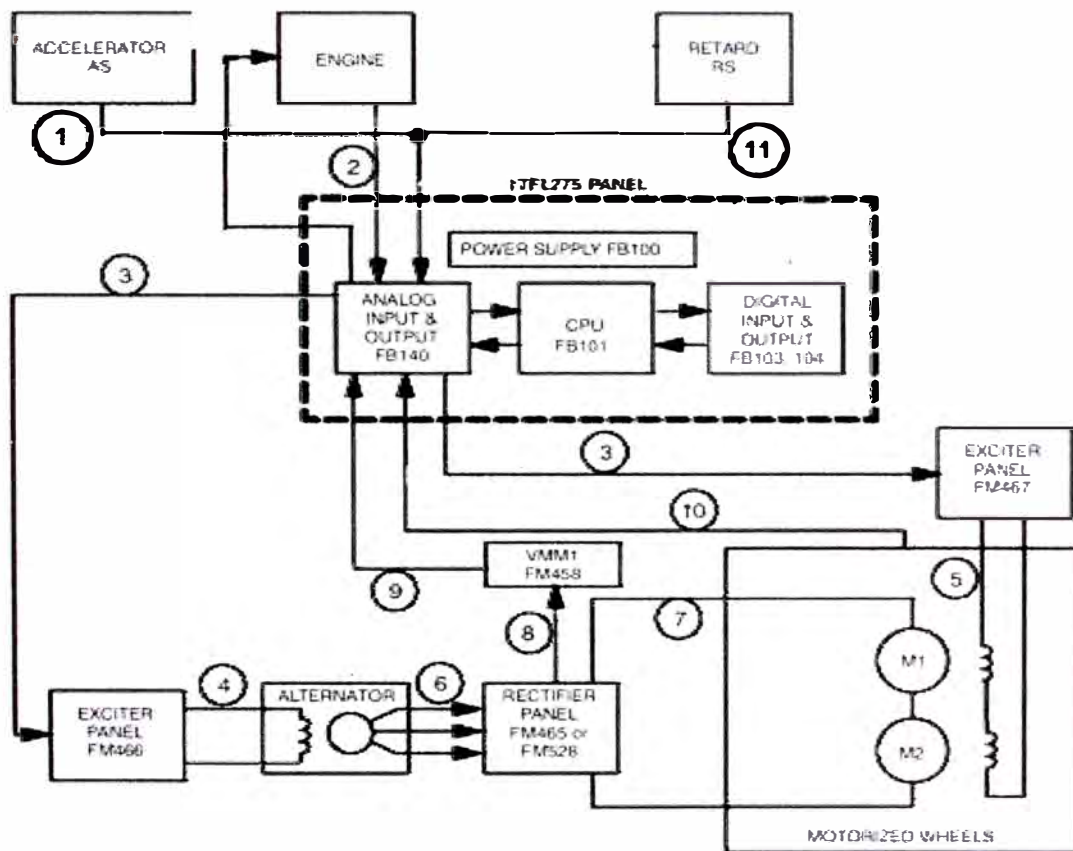


Fig. 2.33. Diagrama de bloques del STATEX III.

6. El voltaje de salida del alternador es una corriente alterna AC trifásica que alimenta al panel rectificador.
7. La salida del panel rectificador es una corriente continua DC variable utilizada para energizar las armaduras de los motores de tracción.

8. La tensión de salida del panel rectificador es sensada por el panel VMM1 y retroalimentada al sistema de control.
9. La señal de retroalimentación está atenuada por el panel VMM1 para ser aplicada a la tarjeta análoga FB140.
10. Las señales de los sensores de velocidad de los motores de tracción son enviadas a la tarjeta análoga FB140 para operar varias funciones de eventos de velocidad.
11. El operador oprime el pedal de retardo para desacelerar el camión. Se establecen los circuitos y el esfuerzo de retardo deseado. Se conectan las parrillas de retardo y los blowers.

2.4.3 Panel Controlador 17FL275

- El panel de tarjetas electrónicas 17FL275 contiene un microprocesador (CPU) que regula el sistema.
- Utilizando un computador portátil (PTU) se puede tener acceso a los datos registrados en la memoria del sistema, tales como: contadores de eventos, histogramas o perfiles, snapshots; además se puede monitorear los parámetros del camión en tiempo real.
- Se configura y calibra electrónicamente los parámetros del camión, se calibra los potenciómetros de los pedales de aceleración y retardo.
- El conjunto de las tarjetas del panel 17FL275 consiste de las siguientes:
 - 17FB100 Fuente de poder (P1).
 - 17FB144 Unidad procesadora central (CPU).

- 17FB140 Entrada/salida análoga (A1).
- 17FB103 Entrada/salida digital (D1).
- 17FB104 Entrada/salida digital (D2).

2.4.4 Transición de los estados del sistema

A continuación vamos a describir las transiciones de los estados del sistema, dichas transiciones se muestran en un diagrama de bloques como el de la figura 2.34.

- **Control Power Off:** Se desconecta el microprocesador. Se conecta y conmuta al estado **Init** cuando detecta potencia de control CPSFB (Control Power Switch Feedback).
- **Init:** Estado de inicialización del sistema. Establece preajuste de posición de contactores.
- **Nomo:** Velocidad del camión menor a 3 mph. No existe aceleración ni retardo. Se emplea principalmente para controlar las transiciones hacia los estados de eventos y cambio de dirección.
- **Into Accelerate:** Ingresa a este estado al producirse la transición de Neutro/Nomo o Coast hacia aceleración. Posiciona los contactores para propulsión. Se restringe si hay retardo, eventos que inhiban la aceleración o si falla la secuencia de contactores.
- **Accelerate:** Se ingresa a este estado cuando el operador presiona el pedal acelerador. Se mantiene en este estado hasta que:
 - Se libera el pedal acelerador.
 - Se presiona el pedal de retardo.

- Existe sobre velocidad.
- Ocurre una condición de evento.
- **Out of Accelerate:** Se ingresa al producirse la transición de aceleración a coast. Se inicia cuando:
 - Se libera el pedal de aceleración cortando la secuencia de propulsión.
 - Ocurren condiciones del tipo eventos operacionales tales como: aplicación de freno de servicio, tolva arriba, sobre velocidad, aplicación de freno de parqueo, etc.
- **Out a Gndflt:** Se ingresa a este estado cuando ha ocurrido una falla a tierra accidental y se está en aceleración. Permite a los contactores quitar la aceleración.
- **Coast:** Marcha por inercia. Similar al estado Nomo, excepto que la velocidad es superior a 3 mph.
- **Into Retarding:** Se ingresa a este estado al producirse la transición desde Nomo o Coast a uno de los tres estados de retardo. Posiciona los contactores para el retardo:
 - Presionando el pedal de retardo.
 - Excediendo en control de velocidad de retardo.
 - Accionando la función de sobre velocidad.
- **Retard:** Se ingresa a este estado cuando se presiona el pedal de retardo.
- **Overspeed:** Se ingresa a este estado cuando la velocidad del camión excede el límite de sobre velocidad ignorando los pedales de

aceleración y retardo. El camión queda sometido al nivel de retardo máximo hasta llegar a la velocidad de reposición.

- **Retard Speed Control (RSC):** Se ingresa a este estado cuando la velocidad excede el límite superior del valor establecido por el RSC. El retardo se aplica hasta que la velocidad sea inferior al límite de desconexión del RSC.

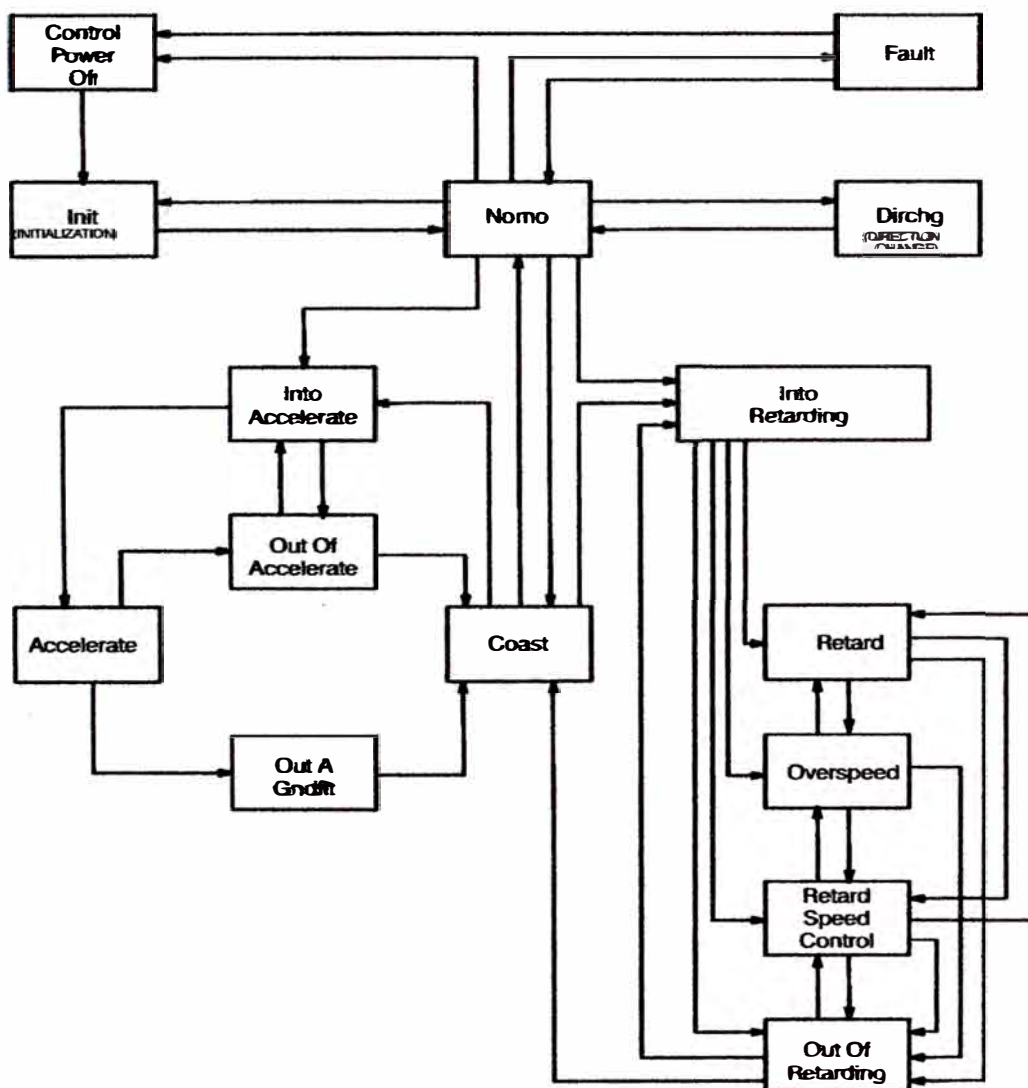


Fig. 2.34. Transiciones de los estados del sistema.

- **Out of Retarding:** Se ingresa a este estado cuando el operador suelta el pedal de retardo o cuando las condiciones requeridas satisfacen el RSC o la sobre velocidad. Se cancela la secuencia de los contactores de retardo.
- **Dirchg:** Es el estado de cambio de dirección. Único estado que permite la conmutación del reversor. La velocidad del camión debe ser inferior a 3 mph (Nomo).
- **Fault:** Es el estado que se produce cuando hay una falla a tierra accidental o un evento de no aceleración. En este estado pueden borrarse los eventos. No se permite la aceleración pero si el retardo.

2.4.5 Restricciones operativas

El sistema STATEX III no permite obtener aceleración si:

- Se solicita retardo.
- Existe una falla de no aceleración. Esta falla se puede normalizar mediante:
 - El conmutador de sobre posición Dos bajo el nivel Nomo.
 - El botón de reposición en el panel de presentación de dos dígitos.
 - La instrucción de mandos “fclear” en la PtU.
- Cuando la palanca selectora está en neutro.
- Existe una tierra accidental. Esta falla se puede normalizar de la misma forma que en el caso anterior.
- Se aplica el freno de servicio o el freno de estacionamiento. El conmutador de sobre posición inhibe el bloqueo del freno de servicio.

- No hay presión de aire suficiente en el sistema de refrigeración de los motores de tracción.
- La tolva está levantada. El conmutador de sobre posición DOS inhibe esta acción si la palanca selectora está hacia adelante.
- Cualquier contactor de retardo está cerrado.

2.4.6 Ajuste de la velocidad del camión en MPH

- **Overspeed Overshoot:** Es la velocidad del camión que excede la capacidad de control de sobre velocidad.
- **Overspeed Detect:** Es la velocidad del camión a la cual se establece la sobre velocidad. Comienza la secuencia de retardo en un nivel máximo.
- **Overspeed Dropout:** Es la velocidad del camión a la cual se libera el retardo de sobre velocidad. Debe ser menor o igual al 95% de overspeed detect.
- **Speed Override:** Establece el límite de velocidad en propulsión. Speed override debe ser establecido en 1 mph (o más) por debajo de overspeed detect.
- **Maximun Retard Pot:** Es el valor de velocidad de retardo máximo para el sistema de control de velocidad.
 - Debe establecerse en 3 mph por debajo de overspeed detect.
 - El ajuste mínimo del potenciómetro RSC es siempre de 5 mph.

Por seguridad del operador, los valores de velocidad con camión cargado deben ser menores o iguales a los valores con camión vacío. Los ajustes de velocidad del camión 730E se muestran en la figura 2.35.

Empty Over Speed Overshoot :	30.0 mph
Empty Over Speed Pickup :	26.0 mph
Empty Over Speed Dropout :	24.0 mph
Empty Speed Limit :	24.0 mph
Empty PSC Speed at Max Pot Setting :	22.0 mph
Loaded Over Speed Overshoot :	26.0 mph
Loaded Over Speed Pickup :	26.0 mph
Loaded Over Speed Dropout :	24.0 mph
Loaded Speed Limit :	24.0 mph
Loaded PSC Speed at Max Pot Setting :	22.0 mph

Fig. 2.35. Ajustes de velocidad del camión 730E.

2.4.7 Eventos del sistema STATEX III que fueron encontrados mediante el mantenimiento predictivo

El STATEX III permite monitorear la parte operativa del camión, de esta manera brinda información útil de eventos para un manejo seguro. A continuación vamos a describir dos eventos que son muy importantes de controlar.

- **Evento N°66 Overspeed (sobre velocidad de retardo):** Este evento se graba cuando la velocidad del camión excede el límite establecido en el programa de configuración del camión, en el caso del camión 730E, el límite es de 26 mph (41.8 km/h). Este evento no paraliza el camión, pero si corta la secuencia de propulsión. En la cabina del

operador se enciende la luz de “**retardo**”. Cuando se activa dicha luz de “**retardo**” el operador debe aplicar al máximo el pedal de retardo para reducir la velocidad por debajo del punto de sobre velocidad.

- **Evento N°67 Overspeed Overshoot (velocidad de retardo excedida):** Este evento se graba cuando la velocidad del camión excede el límite establecido en el programa de configuración del camión, en el caso del camión 730E, el límite es de 28 mph (45 km/h) con camión cargado y 30 mph (48.2 km/h) con camión vacío. Este evento no paraliza el camión, solamente se registra en memoria. Este evento se presenta cuando el evento N°66 no ha sido controlado oportunamente.

2.4.7.1 Activación de códigos de falla N°66 Overspeed y N°67 Overspeed Overshoot

- **Evento encontrado:** El 13-Nov-07 el operador del camión 730E N°05 reportó que se había encendido la luz de “**retardo**” y el equipo se había neutralizado. Se procedió a descargar la información del STATEX y se encontraron los eventos N°66 y N°67 tal como se aprecia en la figura 2.36. El datapack 28 corresponde al evento N°66 (Overspeed) grabado a las 18:54:14; nos muestra que la velocidad del camión llegó hasta 26.6 mph (M1-SPD), superior al límite de 26 mph, también se observa que hasta el momento de activarse el evento el

operador no había pisado el pedal de retardo RPINHI = 0%, esto se aprecia en la pantalla del STATEX, figura 2.37.

Index #	Event #	...	Event Desc.	SubID Desc.	Date	Time
22	66	0	OVERSPEED:	no sub desc :	12nov07	06:51:55.34
23	79	0	ENG SHUTDOWN:	no sub desc :	12nov07	08:36:57.62
24	79	0	ENG SHUTDOWN:	no sub desc :	12nov07	11:27:22.97
25	79	0	ENG SHUTDOWN:	no sub desc :	12nov07	11:58:38.72
26	79	0	ENG SHUTDOWN:	no sub desc :	12nov07	16:48:30.20
27	80	0	ENG SPD RETARD:	no sub desc :	12nov07	18:53:54.34
28	66	0	OVERSPEED:	no sub desc :	12nov07	18:54:14.50
29	67	0	OVRSPD OVERSHOOT:	no sub desc :	12nov07	18:54:23.00

Fig. 2.36. Resumen de eventos.

AF-CMD	REQUEST	RSC-MPH	M1-SPD	M1DEG
100	100	100.0 mph	34.8 mph	20.1
MF-CMD	FEEDBK	RPINHI	M2-SPD	M2DEG
100	0	100%	0.0 mph	20.1

Fig. 2.37. Evento N°66.

Luego a las 18:54:23 se grabó el evento N°67 (Overspeed overshoot), en la figura 2.38 se aprecia que la velocidad del camión llegó hasta 34.8 mph (M1-SPD), superior al límite de 30 mph para camión vacío, también se observa que en ese momento el operador tiene aplicado por completo el pedal de retardo RPINHI = 100%, con el objetivo de disminuir la velocidad del camión.

El software STATEX nos permite observar el comportamiento de la velocidad del camión durante la activación del evento, en la figura 2.39 se aprecia que la velocidad del camión siempre continúa en forma ascendente (el camión se “embala”), también se aprecia que el operador aplica el pedal de retardo tardíamente cuando la velocidad del camión está en 31 mph, a este rango de velocidad puede darse la posibilidad que se pierda el control sobre el retardo, tal como ocurrió en el presente caso.

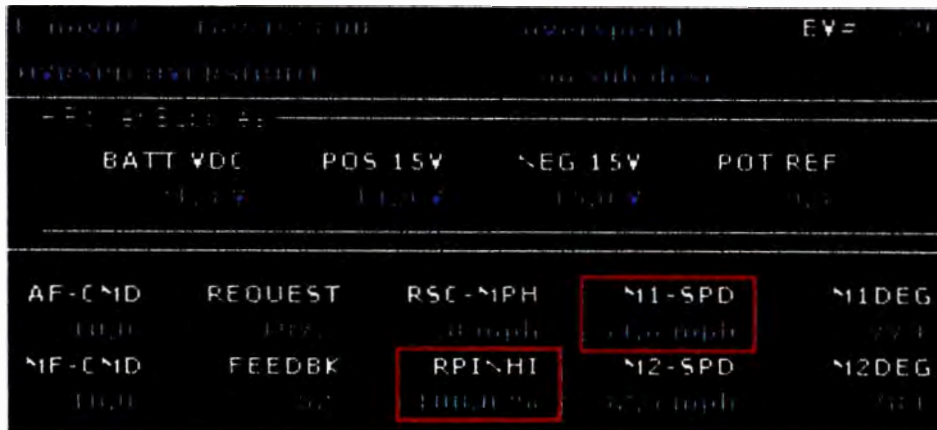


Fig. 2.38. Evento N°67.

La gráfica del datapack termina cuando la velocidad del camión llega a 38.7 mph, el operador indicó que la velocidad del camión llegó hasta mas de 40 mph, luego del cual aplicó el pedal de freno de servicio (freno mecánico) para poder disminuir la velocidad del camión. Es necesario recordar que la aplicación del freno de servicio es solo recomendable hasta una velocidad máxima de 8 mph. Cuando se aplica el freno de servicio a una mayor velocidad se produce desgaste prematuro en discos y pastillas de freno debido a la

alta fricción que se genera, por consiguiente solo es recomendable utilizar el freno de servicio en tales velocidades solo como emergencia.

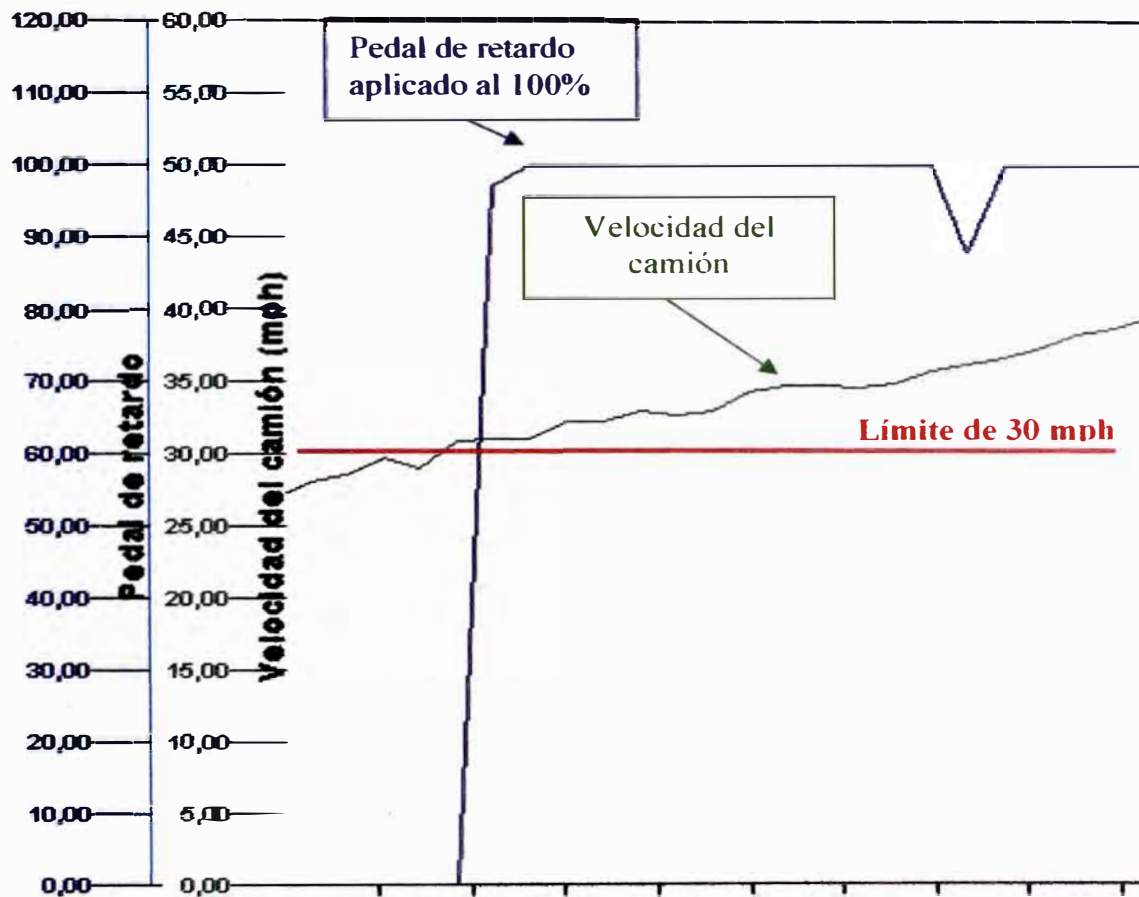


Fig. 2.39. Velocidad del camión vs. pedal de retardo.

- **Trabajo realizado:** Se realizó un reporte al área de operaciones indicando la importancia de los eventos de sobre velocidad para la seguridad de los operadores. Además se realizó un reporte relacionado a faltas en el modo de operación del camión, tal reporte se denomina “Reporte Statex 730E Noviembre 2007”, el cual se detalla en el

anexo C. Este reporte se emite mensualmente con fines de corregir las faltas que puedan estar cometiendo los operadores.

CAPITULO 3

CHASIS Y TOLVA DEL CAMION

En el presente capítulo abordaremos la inspección estructural del chasis Komatsu 730E, medición con ultrasonido de las planchas de refuerzo de la tolva, monitoreo de los cilindros de suspensión, se explicará la utilización del software de Komatsu Payload Meter (PLM III) para el monitoreo de dichos cilindros y finalmente la aplicación del PLM III para el análisis de cargas. Todo esto con el objetivo de evitar fallas prematuras en el chasis, tolva y sus componentes asociados.

3.1 Chasis del camión 730E

El chasis del camión 730E se aprecia en la figura 3.1 y en la figura 3.2 se aprecia la vista en corte de las planchas, donde se puede observar que las zonas que están sometidas a mayor esfuerzo son las de color rojo, que corresponden a la parte posterior del camión, y las zonas en color celeste corresponden al soporte de la cabina del operador.

Las características del chasis son las siguientes:

- En las zonas de alto esfuerzo se utiliza acero fundido HSL⁽¹⁾.
- Se utiliza diseño de cajón en las secciones del chasis.
- Soportes ROPS⁽²⁾ incorporados.
- Diseño estructural de “Horse collar” continuo en su sección.

(1) El Acero HSL es un acero de alta resistencia, baja aleación, templado y revenido.

(2) ROPS (Roll-Over Protective Structure: Estructura de Protección Antivuelco).

- Diseño tubular en secciones traseras.
- Ancho de plancha: 11'' (279 mm.)
- Largo de plancha: 32'' (813 mm.)
- Espesor de plancha superior e inferior: 1.25'' (32 mm.)
- Espesor de plancha lateral: 0.62'' (16 mm.)
- Esfuerzo del material de planchas : 70,000 psi (482.6 MPa).
- Esfuerzo del material de fundición : 90,000 psi (620.5 MPa).

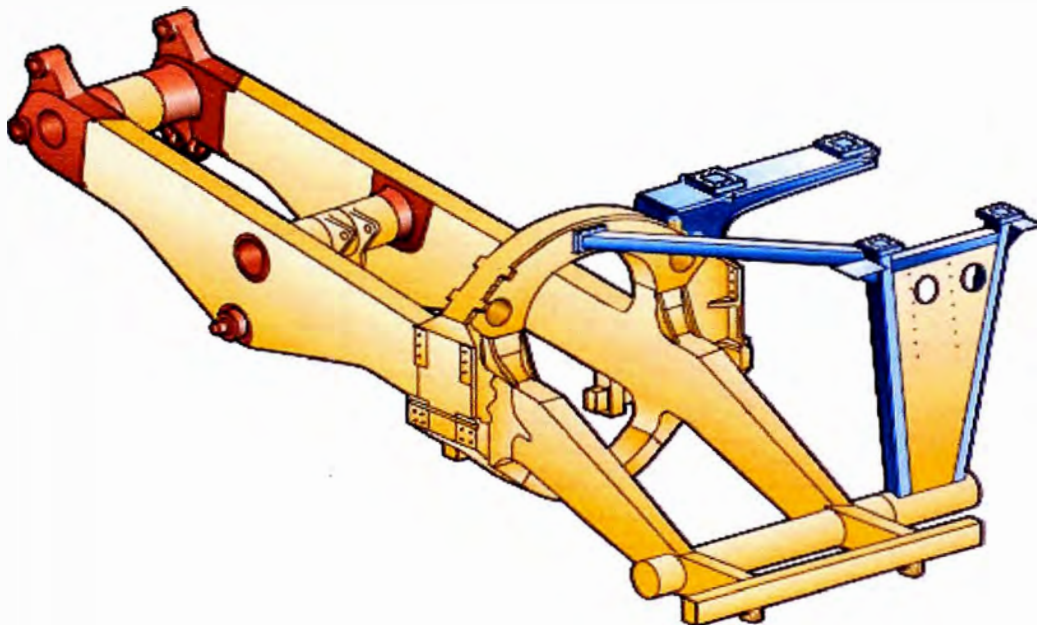


Fig. 3.1. Chasis de camión 730E.

3.1.1 Causas de fisuramiento del chasis

3.1.1.1 Eventos de sobreesfuerzo en la estructura

Todo material metálico con base en Fe-C (aceros), presenta características definidas en sus propiedades mecánicas, esto se aprecia en la

curva esfuerzo vs. deformación de la figura 3.3, donde se tienen las siguientes zonas y límites:

- Zona elástica.
- Límite de fluencia.
- Zona plástica.
- Límite de ruptura.

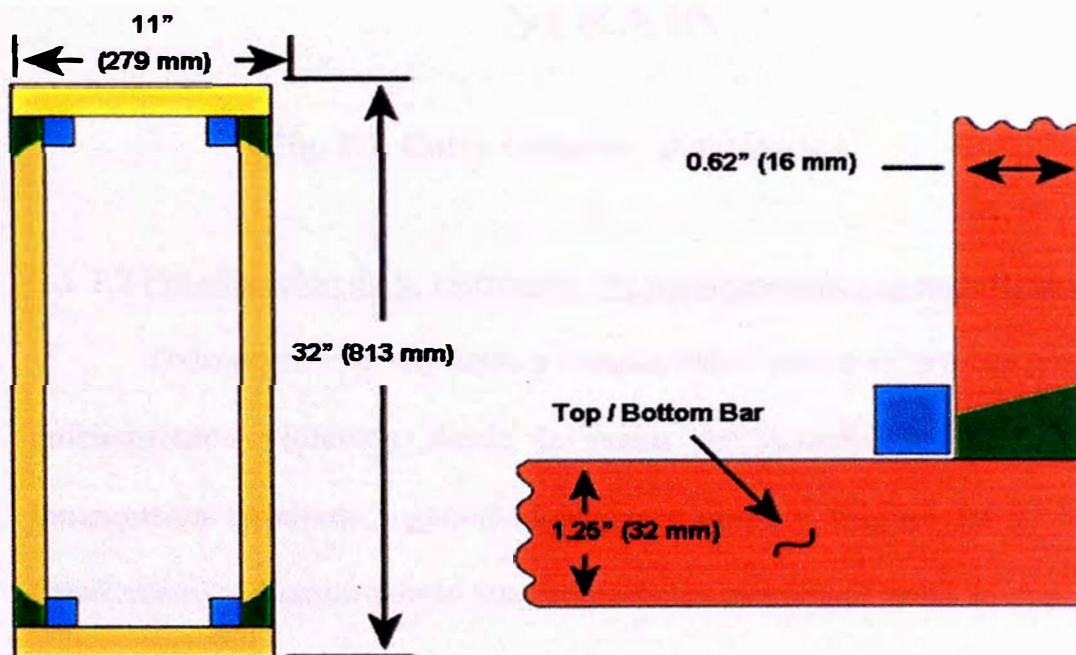


Fig. 3.2. Vista en corte de las planchas del chasis.

Cuando el material es sometido con alta frecuencia a esfuerzos mayores al dado por el límite de fluencia, en dicho material se presentan fallas prematuras por fatiga. Dichos sobre esfuerzos es generalmente ocasionado por las sobrecargas y/o grandes desniveles que se puedan presentar en la carretera.

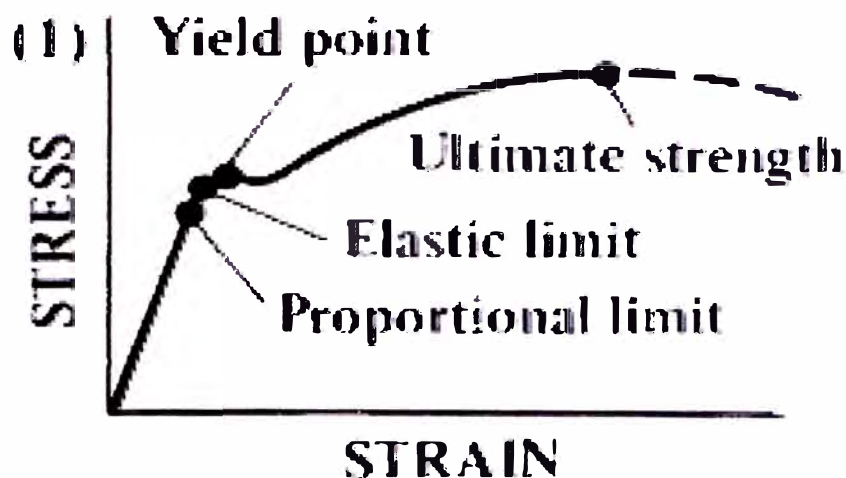


Fig. 3.3. Curva esfuerzo - deformación.

3.1.1.2 Fragilización de la estructura por transformaciones metalúrgicas

Todo acero está expuesto a transformaciones metalúrgicas producto de enfriamientos violentos desde la etapa de austenizado (723 °C) hasta temperatura ambiente, generándose fases duras y frágiles en su estructura (martensita) y disminuyendo sus propiedades mecánicas antes mencionadas.

3.1.1.3 Imperfecciones en la superficie

- **Identaciones:** Depresión en la superficie, producto de la deformación de ésta por compresión de otro elemento. Presentan configuraciones geométricas multiplicadoras de esfuerzo.
- **Socavaciones:** Defecto en la terminación de un proceso de soldadura, presente en el cordón de soldadura o en el pie de éste, se caracteriza por presentarse como una depresión de la superficie.

- **Sobre-reforzamientos:** Excesivo reforzamiento de los cordones de soldadura, no debe superar los 2mm.

3.1.2 Inspecciones al chasis

Todas las inspecciones se realizan vía ensayos no destructivos siendo éstos: inspección visual y líquidos penetrantes. En minera Barrick se utiliza en primera instancia la inspección visual en los puntos de mayor concentración de esfuerzos, cuando existe alguna duda sobre la existencia o no de fisuras utilizamos los líquidos penetrantes.

Se ha elaborado un formato “**Inspección de chasis 730E**”, ver anexo D, en el cual se muestran los puntos a inspeccionar según recomendación de Komatsu.

3.2 Tolva

La tolva es el componente que sirve para transportar el mineral, es levantado mediante los cilindros de levante.

3.2.1 Principios de la medición con ultrasonido

La sonda del equipo TI-25DL-MMX transmite y recibe la onda de sonido ultrasónico que el equipo utiliza para calcular el espesor del material. La sonda debe ser usada correctamente para entregar un resultado exacto y confiable. Una pequeña cantidad de “coupling” es utilizado para asegurar que no haya un espacio de aire entre la sonda y la superficie del material. Para una

correcta medición es necesario apretar la sonda por su mango de goma y colocarlo encima de la superficie del material.

En cualquier escenario de medición con ultrasonido, la forma y robustez de la superficie a medir son de primordial importancia. Una superficie demasiado irregular puede limitar la penetración del ultrasonido a través del material y puede resultar en una medición inestable y poco confiable.

La superficie a medir debe estar limpia, libre de partículas, de corrosión e incrustaciones. A veces una brocha de alambre es útil para limpiar las superficies.

Los medidores de espesores con ultrasonido utilizan ondas de sonido para medir espesores, diferentes tipos de material tienen diferentes velocidades acústicas, por ejemplo la velocidad acústica del acero común es 0.2330 IN/us (pulgadas por microsegundo) mientras que del aluminio es 0.25000 IN/us; es necesario que el equipo TI-25DL-MMX esté seteado a la correcta velocidad acústica dependiendo del material a medir. En la tabla 3.1 se muestran diferentes velocidades acústicas de acuerdo al tipo de material.

3.2.2 Inspección y medición con ultrasonido el espesor de tolva

Las inspecciones se realizan también utilizando ensayos no destructivos siendo éstos: inspección visual y medición de espesor con ultrasonido. La principal ventaja de la medición con ultrasonido sobre los métodos tradicionales es que puede ser realizado teniendo acceso solo a uno de los lados del material a medir.

En minera Barrick las planchas de las tolvas son de acero estructural ASTM A-514, por ello la velocidad acústica que se emplea es de 0.2330 IN/us. Se ha desarrollado un archivo “**Inspección de tolva 730E**”, ver anexo E, en la cual se colocan los puntos a medir y los valores de las mediciones para ser comparados con los valores nominales.

Tabla 3.1. Tabla de velocidad acústica.

Material Type	Velocity Inches/us	Velocity Meters/s
Aluminum	0.2500	6350
Bismuth	0.8600	2184
Brass	0.1730	4394
Cadmium	0.1090	2769
Cast Iron	0.18000	4572
Constantan	0.2060	5232
Copper	0.1840	4674
Epoxy resin	0.1000	2540
German silver	0.1870	4750
Glass, crown	0.2230	5664
Glass, flint	0.1680	4267
Gold	0.1280	3251
Ice	0.1570	3988
Iron	0.2320	5898
Lead	0.8500	2159
Magnesium	0.2280	5791
Nickel	0.2220	5639
Nylon	0.1020	2591
Paraffin	0.0870	2210
Platinum	0.1560	3962
Plexiglass	0.1060	2692
Polystyrene	0.0920	2337
Porcelain	0.2300	5842
PVC	0.0940	2388
Quartz glass	0.2220	5639
Rubber, vulcanized	0.0910	2311
Silver	0.1420	3607
Steel, common	0.2330	5920
Steel, stainless	0.2230	5664
Stellite	0.2750	6985
Tin	0.1310	3327
Titanium	0.2400	6096
Tungsten	0.2100	5334
Zinc	0.1660	4216

3.3 Cilindros de suspensión

Los cilindros de suspensión son los componentes que mediante la presión interna del gas nitrógeno calculan el peso del material que transporta la tolva. Los cilindros de suspensión son componentes hidroneumáticos que contienen aceite y gas nitrógeno. El aceite y el gas en los cuatro cilindros de suspensión soportan el peso bruto del camión con excepción de las ruedas, spindles⁽³⁾ y los motores de tracción.

3.3.1 Cilindros de suspensión delanteros

Los cilindros de suspensión delanteros consisten de dos componentes básicos: un “**housing**” ligado al chasis del camión y un “**vástago**” del cilindro de suspensión ligado al spindle delantero.

Los cilindros de suspensión delanteros requieren de un cuidado normal solamente cuando son maniobrados como una sola unidad. Sin embargo, luego de que las partes internas son desmontadas éstas deben ser maniobradas con mucho cuidado para evitar daño a las partes internas del cilindro. En la figura 3.4 se muestra el cilindro de suspensión delantero montado en el camión. Se puede apreciar que la parte inferior del vástago está protegida con un jebe para evitar la contaminación externa.

3.3.2 Cilindros de suspensión posteriores

Los cilindros de suspensión posteriores consisten de dos componentes básicos: un “**housing**” ligado al chasis del camión y un “**vástago**” del cilindro

(3) Spindle, su traducción en castellano es huso y es el componente que une el cilindro de suspensión delantero con la rueda del camión.

de suspensión ligado al “**housing**” del eje posterior. En la figura 3.5 se muestra el cilindro de suspensión posterior montado en el camión.



Fig. 3.4. Cilindro de suspensión delantero.

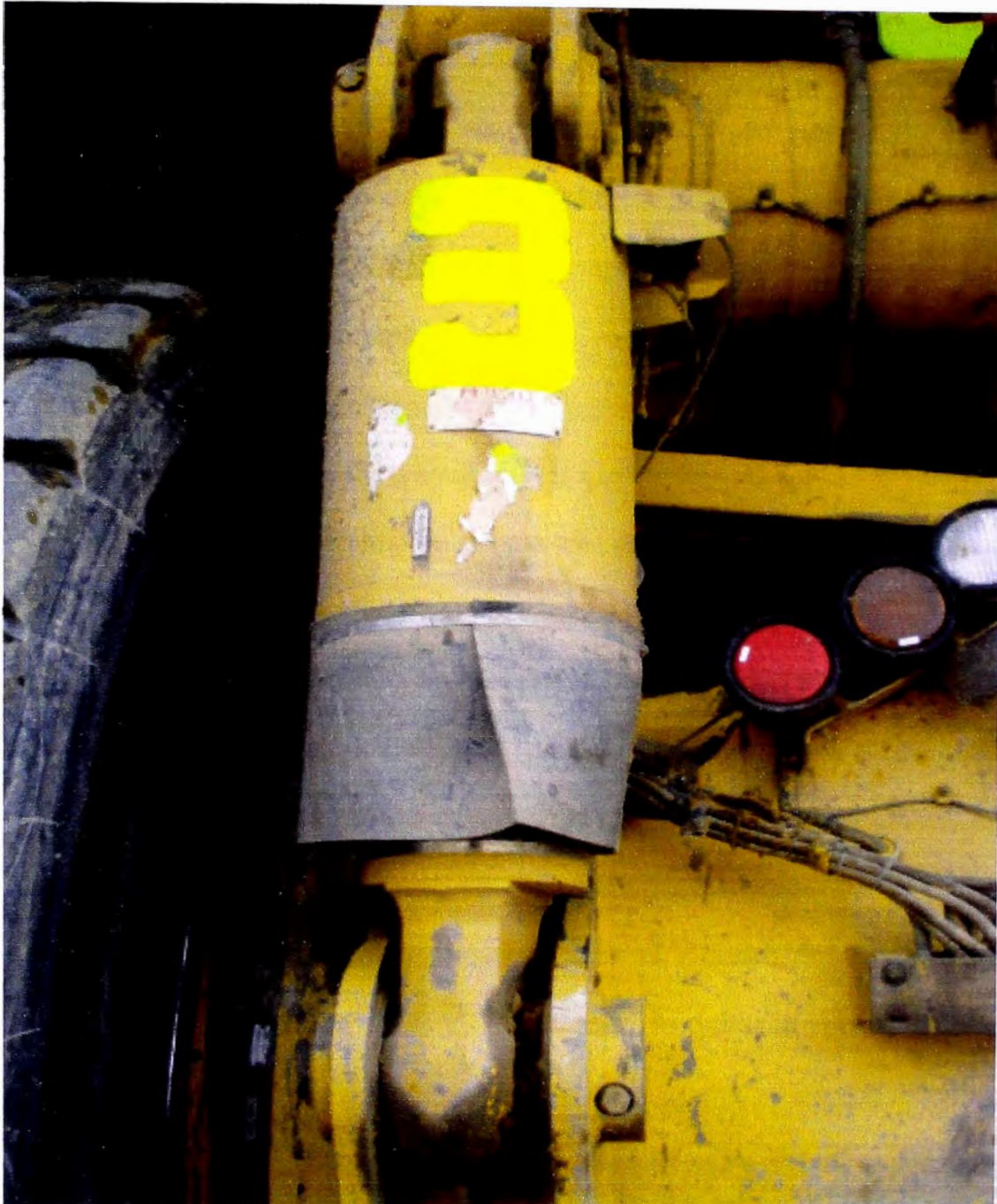


Fig. 3.5. Cilindro de suspensión posterior.

3.3.3 Test de presión de los cilindros de suspensión

Los cilindros de suspensión luego de ser ensamblados deben ser probados por posibles fugas de gas nitrógeno y/o aceite. El siguiente procedimiento es necesario realizar para inspeccionar fugas:

- Hacer caer la suspensión hasta que el pistón esté completamente retraído en el “housing”.
- Asegurarse que todos los tapones y válvulas de carga estén instalados.
Colocar la línea de presurización a la válvula de carga.
- Colocar la suspensión dentro de un compartimiento y sumergirlo dentro de un tanque de agua.
- Presurizar la suspensión con aire o nitrógeno a $1,100 \pm 200$ psi.
- Mantener la presión durante 20 minutos y observar si es que aparecen burbujas en la tapa superior, área de sello del pistón y/o válvula de carga.
- Luego de realizada la prueba, sacar el cilindro del tanque de agua, aliviar la presión del aire o nitrógeno. No quitar la válvula de carga de la suspensión.
- Cubrir las áreas cromadas del cilindro que estén expuestas para prevenir daños durante el montaje.

3.3.4 Procedimiento de engrase y carga de las suspensiones

Las suspensiones nuevas y/o reparadas no están engrasadas ni cargadas con nitrógeno por ello es importante realizar este procedimiento, en Minera Barrick como parte del mantenimiento predictivo es fundamental

realizarlo para evitar fallas prematuras y/o lecturas incorrectas de la presión tal que puedan variar la lectura del pesaje del material de la tolva.

Una adecuada carga de las suspensiones requiere que tres condiciones básicas sean establecidas en el siguiente orden:

- El nivel de aceite debe ser el correcto.
- La extensión del vástago del cilindro de suspensión debido a la carga de nitrógeno debe ser la correcta.
- La presión de carga de nitrógeno debe ser la correcta.

Para obtener mejores resultados las suspensiones deben ser cargadas en parejas, es decir, las delanteras juntas y las posteriores también juntas, pero siempre es recomendable cargar las delanteras primero.

Los valores de ajustes especificados deben ser mantenidos durante el procedimiento de engrase y carga; sin embargo luego de que el camión haya trabajado estas dimensiones pueden variar.

Antes de iniciar el procedimiento de engrase y carga, los soportes a utilizar deben ser fabricados para mantener con seguridad las extensiones del vástago del cilindro de suspensión, además deben ser capaces de soportar el peso del camión durante todo el procedimiento.

Es necesario parquear el camión en un suelo de concreto, aplicar el freno de parqueo y poner cuñas a los neumáticos. Las dimensiones de los soportes están listadas en la tabla 3.2 tanto para las suspensiones delanteras como para las posteriores.

Tabla 3.2. Dimensiones de los soportes.			
Suspensión	Altura de aceite	Altura de carga con nitrógeno	Presión de nitrógeno
Suspensión delantera	1.5 in.	9.0 in.	400 psi
Suspensión posterior	2.9 in.	10.9 in.	206 psi

3.3.4.1 Procedimiento de engrase para las suspensiones

- Colocar y asegurar el soporte de altura de aceite tal como se muestra en la figura 3.6. Cuando la presión del nitrógeno sea aliviada, las suspensiones descansarán en los soportes.
- Remover la tapa de la válvula de carga. Girar la tuerca giratoria de la válvula de carga en sentido contrario a las agujas del reloj tres vueltas completas para sacar el sello de la válvula.

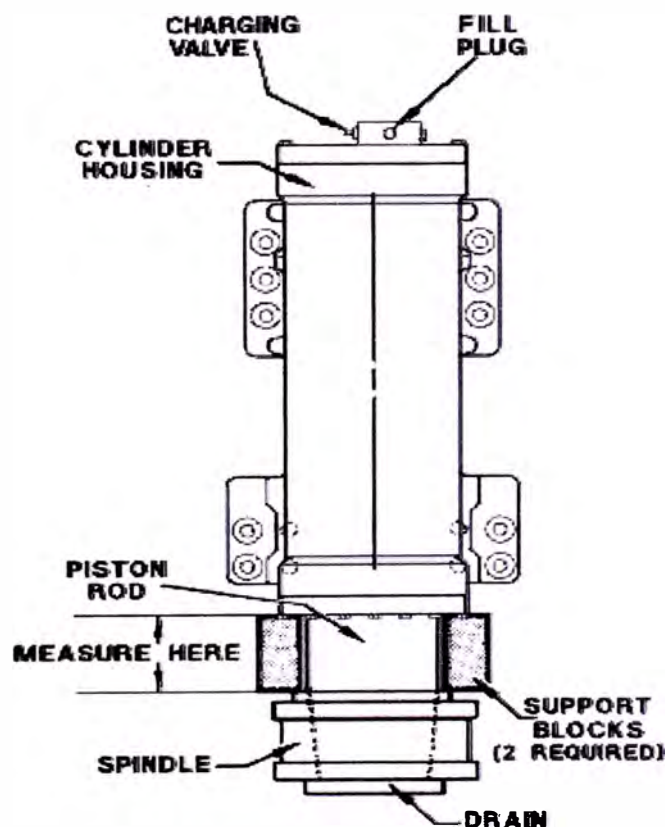


Fig. 3.6. Cilindro de suspensión delantero.

- Oprimir el centro de la válvula de carga para aliviar la presión del nitrógeno de la suspensión. Cuando todo el nitrógeno haya sido aliviado a la atmósfera, la suspensión debe caer suavemente y asentar en los soportes colocados inicialmente. Quitar el tapón de llenado que está al costado de la válvula de carga.
- Llenar la suspensión con aceite limpio (con 6% de aditivo antifricción) hasta que el cilindro se observe lleno por el tapón de llenado. Dejar en este estado a la suspensión por al menos 15 minutos para limpiar algún nitrógeno atrapado y/o burbujas de aceite. Agregar mas aceite de ser necesario e instalar un nuevo o-ring en el tapón de llenado.

3.3.4.2 Procedimiento de carga de nitrógeno para las suspensiones

- Ajustar el cuerpo de la válvula a 22.4 N.m. La tuerca giratoria de la válvula debe ser girada en sentido contrario a las agujas del reloj tres vueltas completas.
- Instalar el kit de carga de suspensiones y una botella de nitrógeno puro seco.
- Cargar las suspensiones con gas nitrógeno hasta 2 in. más que la altura de carga listada en la tabla 3.2. Cerrar la válvula de ingreso de gas.
- Sacar los soportes de altura de aceite e instalar los soportes de altura de carga de nitrógeno.
- Abrir la válvula de ingreso de gas hasta que la presión caiga por debajo de la presión indicada en la tabla 3.2, luego cerrar la válvula.

- Cargar las suspensiones hasta la presión indicada en la tabla 3.2, asegurarse de no sobrecargar con nitrógeno.
- Cerrar la válvula de ingreso de gas. Dejar en este estado a las dos suspensiones durante cinco minutos para permitir que las presiones se igualen.
- Quitar el kit de carga de suspensiones y levantar la tolva para extender las suspensiones delanteras y poder sacar los soportes de altura.

3.4 **Análisis de la carga útil utilizando el software PLM III (Payload Meter)**

El Payload Meter III (PLM III) mide, despliega y registra el peso del material que está transportando un camión. El sistema consta por lo general de un medidor de carga útil, una pantalla de medidores, luces montadas en la cubierta y sensores. Los sensores corresponden a cuatro sensores de presión de suspensión y un inclinómetro.

3.4.1 **Descripción de los estados del ciclo de acarreo**

El ciclo de acarreo típico se puede dividir en ocho etapas o estados distintos. Cada estado requiere que el Payload Meter haga cálculos diferentes y almacene datos diferentes. Estados o etapas de un ciclo de acarreo típico:

- **Zona de tara:** Un nuevo ciclo de acarreo comienza después que se ha vaciado la carga del ciclo anterior. El PLM III permanecerá en el estado **post-vaciado** durante 10 segundos para confirmar que la carga se ha vaciado realmente. Si la carga útil actual es inferior al 20% de la carga nominal, el PLM III cambiará a la **zona de tara** y comenzará a calcular una nueva tara vacía. Si después de la descarga, la carga útil

no ha bajado del 20% de la carga nominal, el PLM III volverá a los estados **maniobrando** o **acarreo**. En este caso el indicador de `false_body_up` (falsa tolva arriba) se registrará en el registro del ciclo de acarreo.

- **Vacío:** Mientras se está en el estado de **zona de tara** y el camión está moviéndose a una velocidad mayor a 5 km/h, el PLM III calculará el peso del camión vacío. Este valor de tara será restado del peso del camión cargado para calcular la carga útil final.

- **Cargando:** Desde el estado vacío, el PLM III cambiará al estado cargando mediante dos formas.

Si el freno de traba está aplicado, el PLM III estará analizando las presiones de la suspensión para detectar una carga oscilante, de ser así, el PLM III cambiará al estado **cargando**. El tamaño mínimo para la detección de carga oscilante es 10% de la carga nominal, la detección de la carga oscilante por lo general toma 4-6 segundos.

El segundo método para cambiar de **vacío** a **cargando** es a través de carga continua. Esto puede suceder si durante la carga no se utiliza el freno de traba. Si la carga aumenta por sobre el 50% de la carga nominal durante 10 segundos sin el freno de traba aplicado, el PLM III cambiará a **cargando**.

- **Maniobrando:** El PLM III cambia de **cargando** a **maniobrando** en cuanto el camión empieza a moverse. La zona de maniobra es de 160 m y está diseñada para que el operador reposicione el camión debajo

de la Pala, se puede entonces agregar mas carga útil dentro de la zona de maniobra.

- **Zona final:** Una vez que el camión viaja mas de 160 m (0.1 milla) el PLM III cambia al estado de **zona final** para calcular el estimado de la carga útil. Si la tolva está arriba mientras el PLM III está en el estado **maniobrando**, el indicador `no_final_load` (sin carga final) se registrará, no se calculará la carga útil y el PLM III cambiará al estado **vaciando**.
- **Acarreando:** Mientras el camión está en **zona final** moviéndose a una velocidad mayor a 5 km/h, el PLM III cambia al estado **acarreando** para calcular el peso del camión cargado y luego restarle el peso de camión vacío, de esta manera calcula la carga útil final. El mismo algoritmo avanzado se usa para calcular el peso de camión vacío y cargado.
- **Vaciando:** El PLM III cambia al estado vaciando cuando la tolva sube.
- **Post-vaciado:** El PLM III cambiará del estado **vaciando** al **post-vaciado** cuando la tolva empiece a bajar.

3.4.2 Regreso sin carga: Carry Back

El regreso sin carga o carry back se calcula como la diferencia entre la tara actual del camión (calculada para cada ciclo de acarreo en la **zona de tara**) y la tara neta del camión. La tara neta del camión se calcula utilizando el software PLM III. En términos simples se puede decir que el carry back es

el material que se queda pegado en la tolva luego de realizada la descarga, el carry back ideal es cero pero por diferentes razones tales como material húmedo, tolva desgastada, etc. el valor del carry back siempre es mayor que cero.

3.4.3 Fuentes de error de carga útil

La fuente de error principal en el cálculo de la carga útil es una suspensión a la que se le ha dado servicio en forma incorrecta, también puede ser por cambios en la estructura de la tolva. El PLM III calcula la carga útil haciendo la diferencia de pesos entre camión vacío y cargado, el peso del camión vacío y/o cargado es el peso soportado por las suspensiones. El único método para determinar el peso del camión es midiendo la presión del gas nitrógeno en las suspensiones. Los factores críticos son un nivel de aceite correcto y una carga de nitrógeno correcta.

3.4.4 Calibraciones con el PLM III

El software PLM III permite realizar dos tipos principales de calibración que son de suma utilidad para el cálculo de la carga útil.

3.4.4.1 Calibración de la tara neta del camión

La tara neta del camión es el peso del camión vacío con la tolva completamente limpia, el PLM III utiliza el valor de la tara neta del camión para calcular el carry back para cada ciclo de carga. El carry back es la diferencia de la nueva tara vacía para cada ciclo de carga menos la tara neta

del camión, cuando se realiza la calibración de la tara neta del camión el PLM III registra en su memoria dicho valor y lo mantiene constante hasta que se realice nuevamente otra calibración.

Es importante siempre monitorear el valor del carry back ya que valores muy elevados de éstos es sinónimo de baja eficiencia en el ciclo de carguío, en el anexo F se muestra el procedimiento para la calibración de la tara neta.

3.4.4.2 Calibración del inclinómetro

Esta calibración está diseñada para compensar las variaciones de la altitud de montaje del inclinómetro. La entrada del inclinómetro es esencial para el cálculo de la carga útil. Esta calibración debe realizarse sobre un terreno plano y de preferencia de concreto, en el anexo F se muestra el procedimiento para la calibración del inclinómetro.

3.4.5 Análisis de data con el PLM III

El análisis de cargas en Minera Barrick tiene los siguientes objetivos:

- Maximizar la productividad.
- Controlar los límites de sobrecargas que causan desgaste prematuro del chasis y componentes asociados (tolva, cilindros de suspensión, pin central, etc.)
- Evitar problemas de seguridad.

La carga nominal de los camiones 730E de Minera Barrick es de 188.0 ton. métricas, el límite de sobrecarga permitido es del 10% sobre la carga nominal, es decir en condiciones ideales los camiones no deberían cargar más de 206.8 ton. métricas. En la tabla 3.3 se muestra la regla de sobrecargas que se aplica en los camiones 730E, esta regla es comúnmente llamada regla del 5/10/10.

Tabla 3.3. Regla 5/10/10 para análisis de cargas.		
Descripción		Denominación
[0 - 178.6 >	Indica muy baja carga.	Pérdida
[178.6 - 188.0 >	Indica baja carga.	Pérdida
[188.0 - 197.4 >	Indica carga normal.	Normal
[197.4 - 206.8 >	Indica sobrecarga mayor al 5% pero menor del 10% (la cantidad total de cargas debe ser como máximo el 10% del total de cargas)	Malogrando el equipo
[206.8 - MAS >	Indica sobrecarga mayor del 10% (no debe existir este tipo de sobrecarga)	Rompiendo el equipo

La tabla anterior también se puede entender gráficamente con el siguiente ejemplo: vamos a considerar una carga nominal de 188.0 ton. métricas, la cantidad de ciclos de carga en un tiempo determinado es de 100, de las cuales 90 ciclos tienen su valor de carga entre [188.0 - 197.4>, en los otros 10 ciclos el valor de carga está entre [197.4 - 206.8> y no hay ningún ciclo cuya carga esté fuera de los dos rangos mencionados, entonces la distribución de carga sería como la mostrada en la figura 3.7, a dicha gráfica

se le conoce como una distribución ideal de carga en la cual se obtiene un mayor aprovechamiento del ciclo de carguío sin dañar al camión.

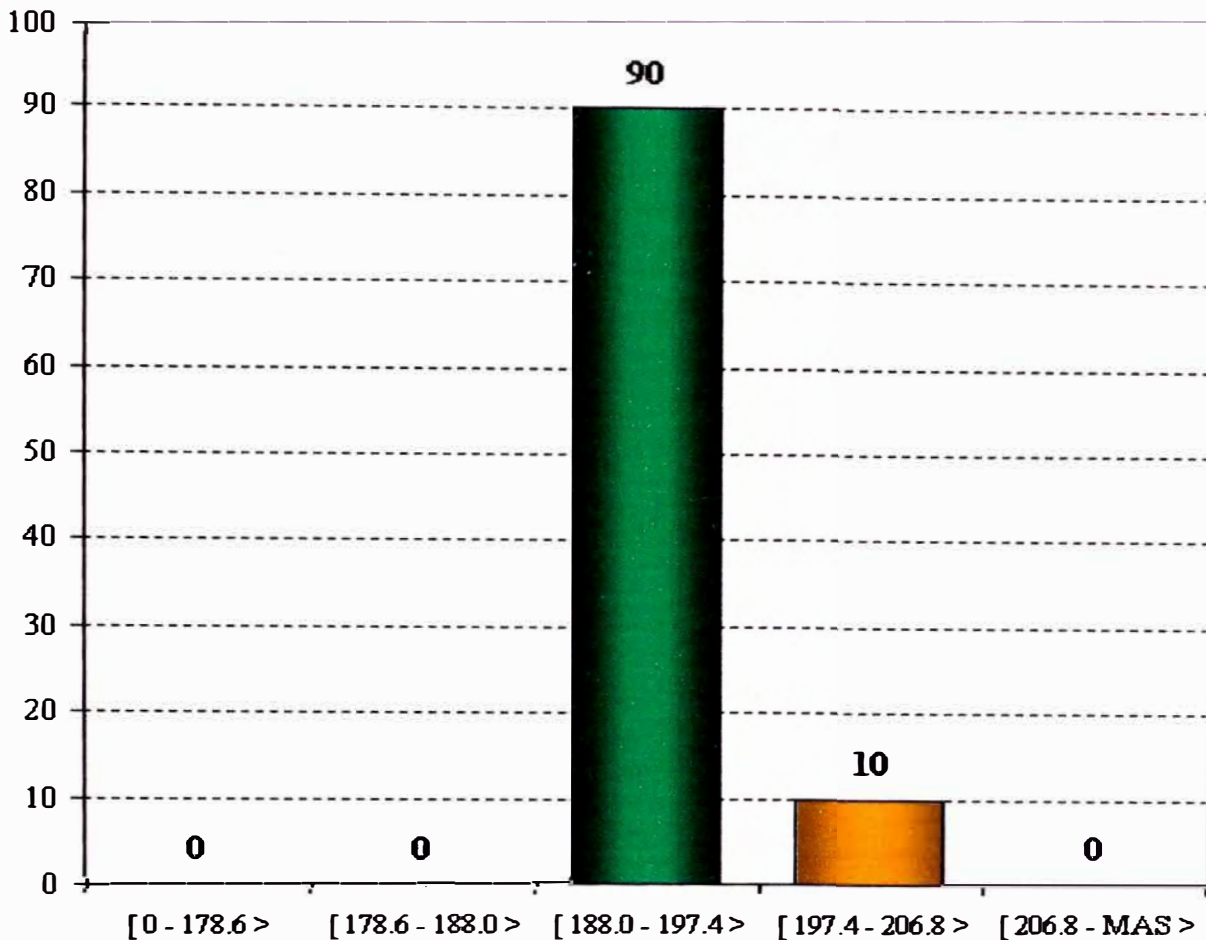


Fig. 3.7. Distribución ideal de carga.

3.4.6 Reporte resumen de cargas del PLM III

El software Payload Meter (PLM III) realiza un reporte resumen de los ciclos de carguío de un camión cualquiera en un rango de tiempo determinado, en la figura 3.8 se muestra dicho reporte.

En la cabecera del reporte se muestra la fecha de creación del reporte: 19 de Agosto del 2009, número de camión: 009, rango de fecha del reporte:

Payload (Net) Summary Report

Report Date: Agosto 19, 2009

Query used for summary:

Truck Number: 009

Truck Type: ALL

Dates: 01/07/2009 to 31/07/2009

Daily Shift Time: 00:00 to 24:00

Time Period	Date	Time	Cycle Distance Averages (KM)
First Load	07/01/2009	12:02:48 AM	Loaded 1.7
Last Load	07/31/2009	11:42:34 PM	Empty 1.8
			Avg. Total Distance 3.4

Payload (Net) Data	Metric Tons	Date	Time
Final Payload (Net)			
Total, All Loads	349,657		
Maximum	218	07/05/2009	04:05:14 AM
Minimum	42	07/08/2009	03:51:56 AM
Average	189		
Standard Deviation	12		
Payload Est @ Shovel (Net)			
Total, All Loads	340,089		
Maximum	228	07/27/2009	08:05:18 PM
Minimum	21	07/19/2009	10:29:18 AM
Average	184		
Standard Deviation	16		
Number of Loads	1,853		
Avg. Carry Back	5.6		

Cycle Time Averages (Min:Sec)
Load 1:57
Haul Run 5:51
Haul Stop 1:51
Return Time 4:46
Return Stop Time 2:57
Durup 1:15
Avg. Operating Time 18:39

Tire Data Averages (MTon-kph)
Left Front 550
Right Front 497
Rear 327

Speed Data (km/h)
Loaded Max 42.32
Loaded Avg 13.00
Empty Max 51.97
Empty Avg 13.71

Fig. 3.8. Reporte resumen de cargas.

del 01-07-09 al 31-07-09, también la distancia promedio del ciclo cargado: 1.7 Km., vacío: 1.8 Km. y distancia promedio total 3.4 Km. En lo referente a cargas siempre se reporta la carga neta, que es equivalente a la carga bruta

menos el carry back, se puede observar que la máxima carga transportada fue de 218.0 ton. métricas, registrada el 05-07-09; la mínima carga fue de 42.0 ton. métricas, registrada el 08-07-09; en promedio el camión transportó 189.0 ton. métricas de un total de 1,853 ciclos de carga, el carry back promedio fue de 5.6 ton. métricas.

En cuanto a tiempos de operación del ciclo completo, el tiempo promedio fue de 18 min. 39 seg., la máxima velocidad del camión cargado fue de 42.32 Km/h y con camión vacío 51.97 Km/h, éstos datos de velocidad son importantes para prolongar la vida útil de los neumáticos tal como se describirá en el capítulo 5.

3.4.7 Distribución real de cargas

El PLM III permite exportar a excel la data de los ciclos de carguío de un periodo cualquiera, con la data en excel se grafica la distribución de las cargas en porcentaje como la mostrada en la gráfica de la figura 3.9.

En la gráfica podemos observar que existe demasiada sobrecarga 3.8%, lo cual puede traer desgaste prematuro en varios componentes del camión, este porcentaje es inadmisibile para fábrica Komatsu, lo ideal debe ser 0%. Entre [197.4 - 206.8> el porcentaje es 17.8% y fábrica solo admite hasta el 10%.

Estos reportes de cargas son emitidos mensualmente a personal de Operaciones Mina con el objetivo de aminorar la cantidad de ciclos con sobrecargas.

DISTRIBUCION REAL DE CARGA

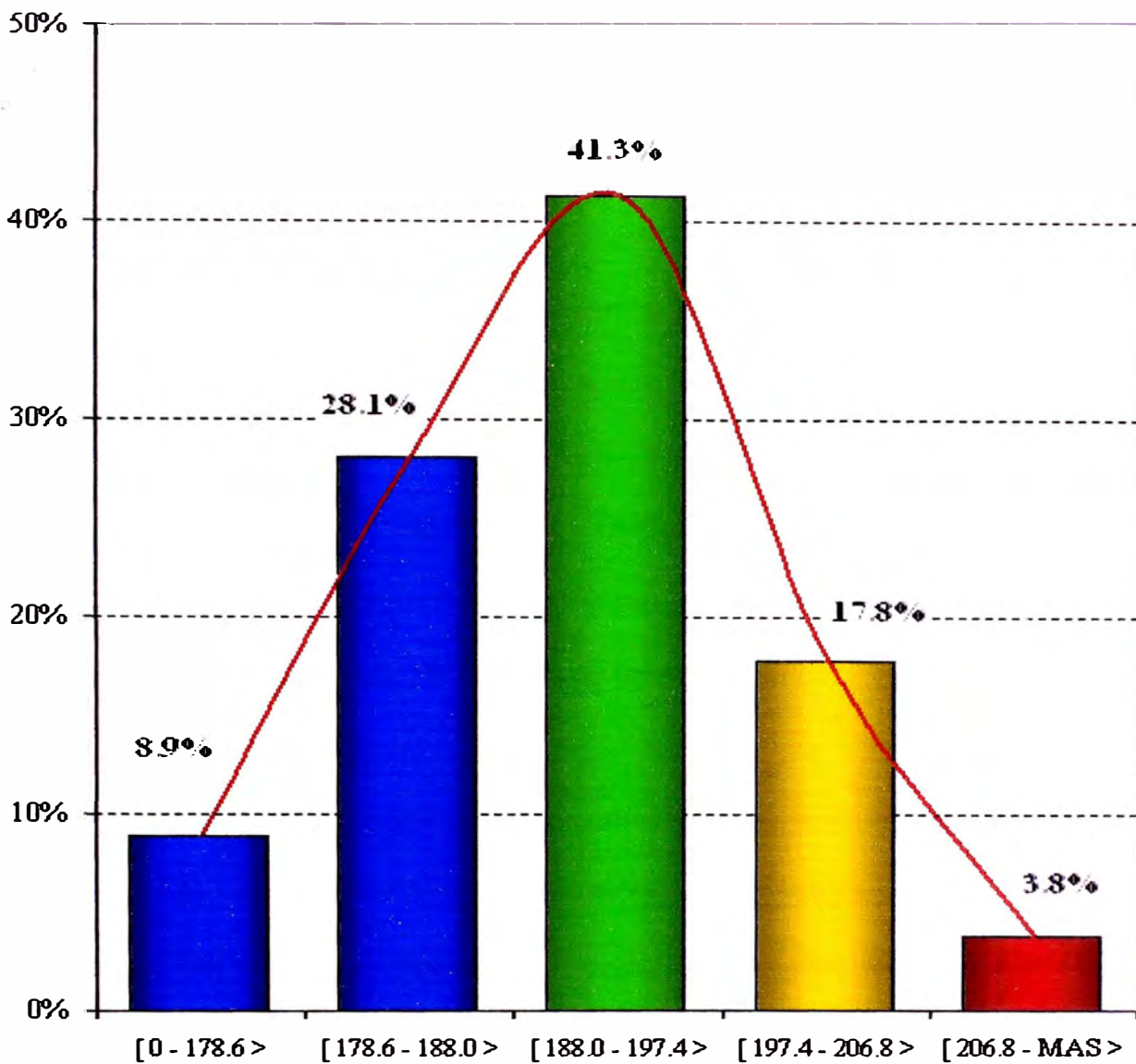


Fig. 3.9. Distribución real de carga.

3.5 Eventos que fueron encontrados mediante el mantenimiento predictivo

A continuación se indicará los eventos que se encontraron mediante las diferentes técnicas del mantenimiento predictivo y fueron resueltos para evitar fallas catastróficas.

3.5.1 **Fisura en trunion de cilindro de levante derecho**

El trunion es un elemento que enlaza el cilindro de levante de tolva al chasis del camión, es por tal motivo que está sometido a grandes esfuerzos tal como se mostró en la gráfica del chasis.

- **Evento encontrado:** Se realizó la inspección del chasis de un camión y se encontró una fisura de aprox. 400 mm. en el trunion. En la figura 3.10 se muestra la ubicación del trunion y la fisura que empezó por la parte superior, si la fisura continuaba avanzando iba ocasionar la fractura de todo el trunion y por consecuencia la rotura y caída del cilindro derecho de levante de tolva.

- **Trabajo realizado:** Se procedió a soldar la fisura, el trunion está en constante monitoreo para observar que la soldadura no se fracture. No fue necesario utilizar los líquidos penetrantes debido a que la fisura era evidente.

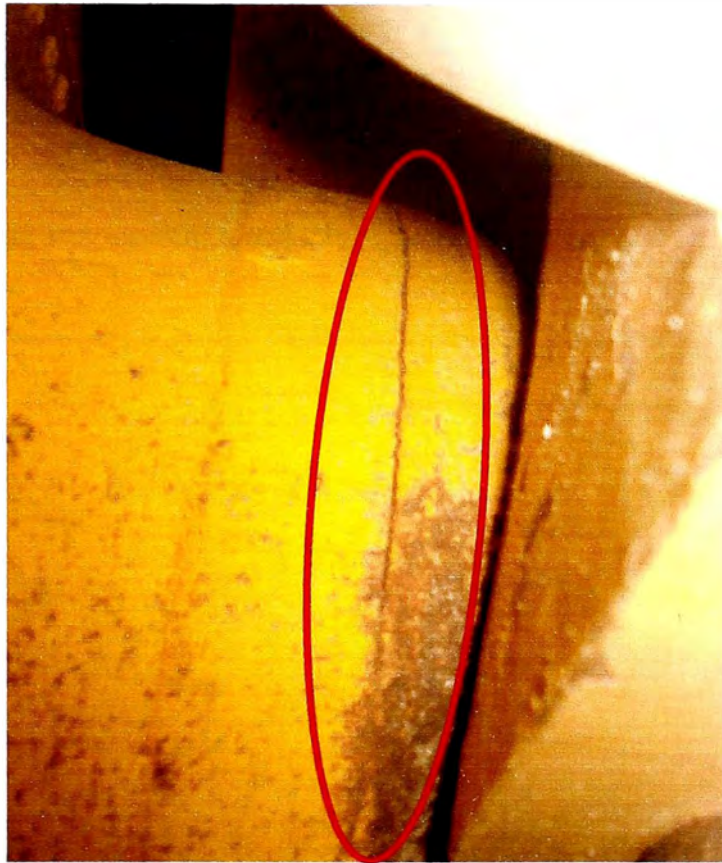
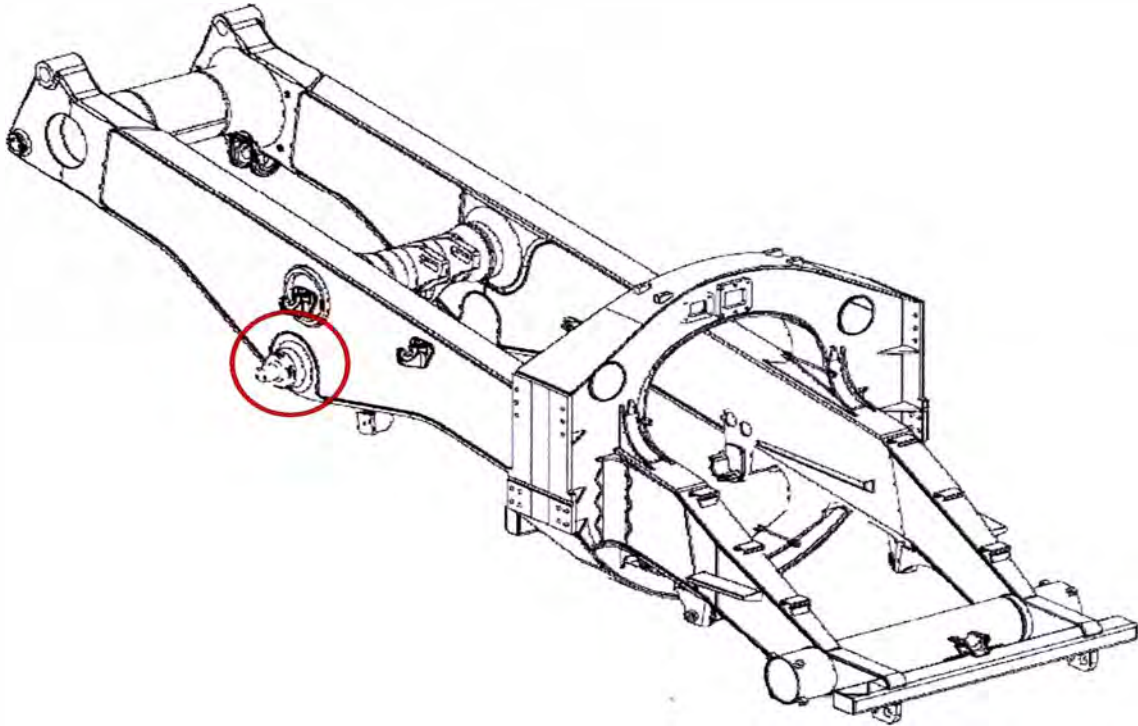
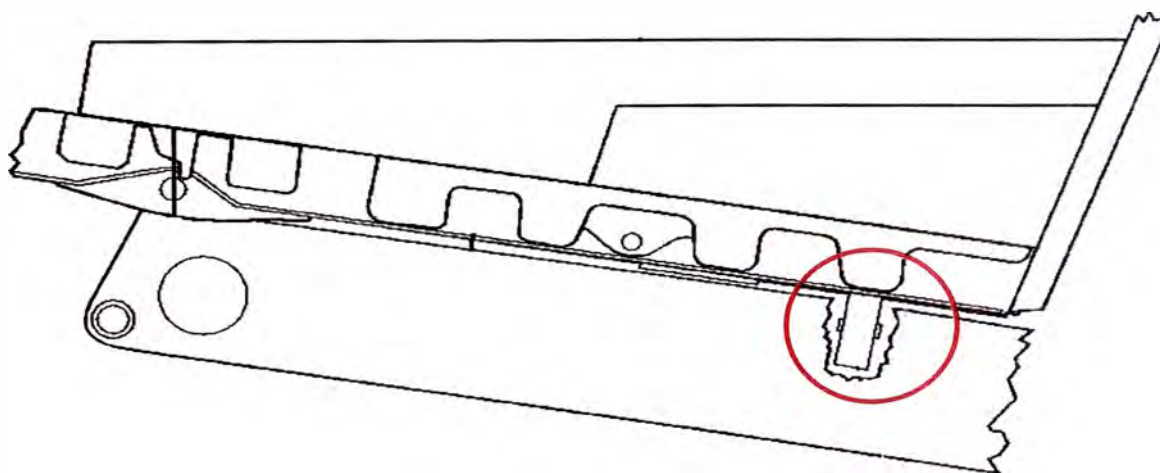


Fig. 3.10. Fisura en trunion de cilindro de levante derecho.

3.5.2 Fisura en el guiador de tolva

El guiador de tolva, que está colocado en la parte externa de la tolva, está diseñado para asegurar que la tolva quede posicionado en la forma correcta en el chasis, de esta manera se previene el desgaste en la bocina del pin central durante la operación del camión.

- **Evento encontrado:** Se realizó la inspección de la tolva y se encontró fisura en el cordón de soldadura que une el guiador de tolva con la parte inferior de ésta. Si el camión seguía trabajando de esta forma pudo ocasionar que el guiador de tolva se caiga y ocasione daños a los componentes que se encuentran debajo.
- **Trabajo realizado:** El guiador de tolva fue reforzado con soldadura, dicho cordón de soldadura está en constante monitoreo. Se realizó la misma inspección a toda la flota de camiones.



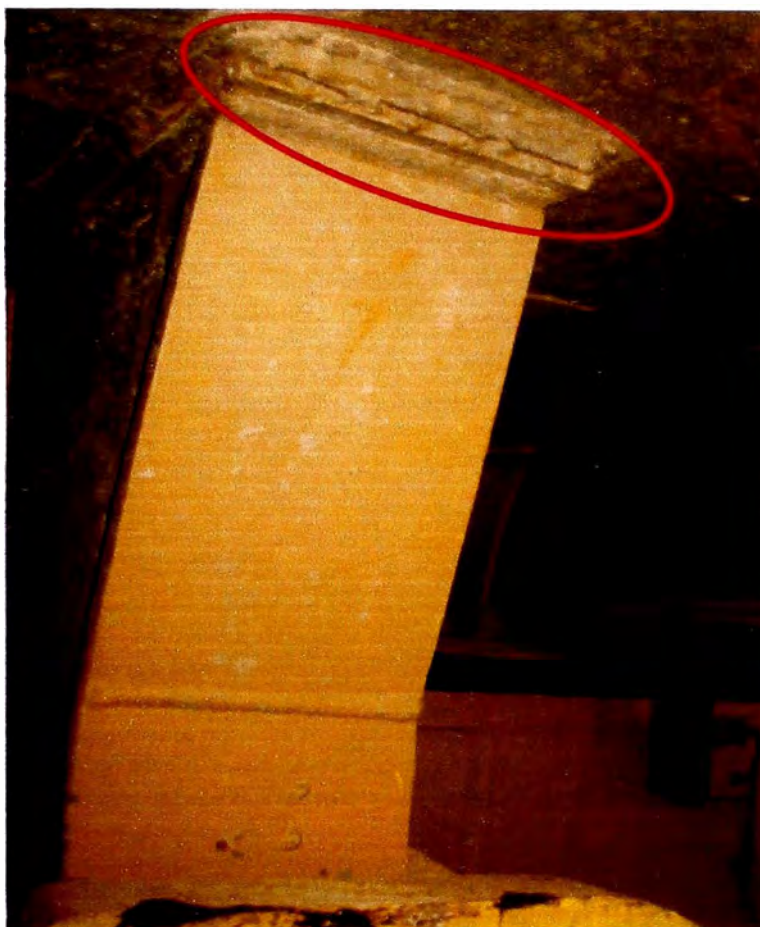


Fig. 3.11. Fisura en el guiador de tolva.

3.5.3 Desgaste en la parte posterior de la tolva

- **Evento encontrado:** Se realizó la inspección y medición de la tolva del camión 730E N°06 y se encontró un alto desgaste en la parte posterior de la tolva, los elementos de desgastes triangulares y rectangulares estaban casi 100% desgastados lo cual ocasiona que la plancha base de 19 mm. de espesor empiece a estar en mayor contacto con el material en el momento de la descarga. En el anexo G se muestra el reporte de la medición realizada.

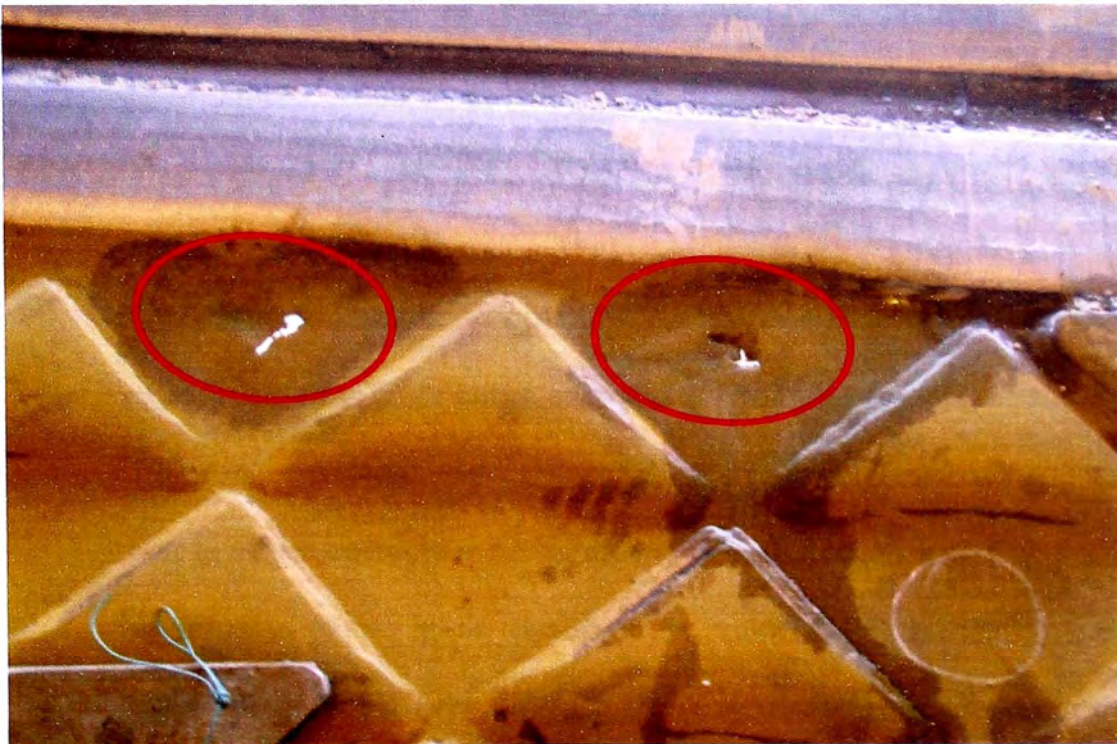
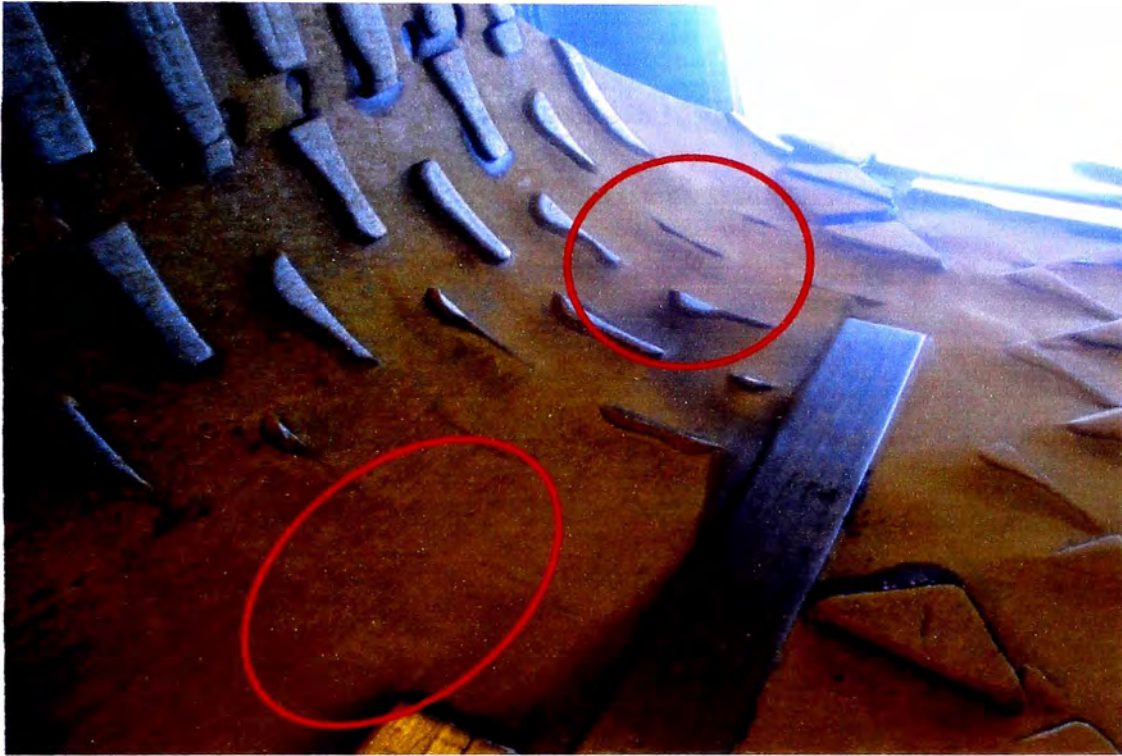


Fig. 3.12. Desgaste en la parte posterior de la tolva.

- **Trabajo realizado:** Se procedió a colocar los elementos de desgaste triangulares y rectangulares, de trabajar en las condiciones encontradas ocasiona un desgaste rápido en la plancha base. Luego de colocar los elementos de desgaste es necesario calibrar la tara neta del camión debido al incremento del peso de la tolva. En la figura 3.12 se muestra que la plancha base tenía huecos.

3.5.4 Baja presión de gas nitrógeno en la suspensión posterior izquierda

La presión del gas nitrógeno de las cuatro suspensiones es utilizada para calcular el peso del material que transporta la tolva, además las suspensiones tienen como finalidad brindar un adecuado confort al operador del camión durante la operación. Cuando alguna suspensión no está con la presión correcta, siempre se reflejará en una lectura errónea de la carga, golpes muy fuertes cuando el camión se desplaza por caminos irregulares, además se disminuye el tiempo de vida del componente.

- **Evento encontrado:** El operador del camión reportó que el camión no estaba registrando la carga correcta del mineral (en promedio debe ser 190 ton. métricas), cuando se inspeccionó las suspensiones estaban con la altura correcta y no había fuga de aceite, se colocó al camión en un terreno plano y se observó los valores de las presiones en el software PLM III (ver figura 3.13) y se pudo apreciar que la presión en la suspensión posterior izquierda era de 3.8 Kg/cn^2 (54 psi) éste

valor estaba muy por debajo del valor nominal de 28.1 Kg/cm² (400 psi).

- **Trabajo realizado:** Se procedió a medir físicamente la presión en la suspensión posterior y se encontró que era 27.0 Kg/cm² (384 psi), éste valor es cercano al nominal y por ello se determinó que la presión mostrada en el software PLM III era incorrecta debido a falla en el sensor de presión. Se cambió el sensor y la presión del software PLM III era igual al valor físico, con esto se logró que el software calcule correctamente el pesaje del mineral.

Real Time Data			
Pressure	Kg/cm²		Truck Status
Left Front	25.0	Inclinometer	2.0
Right Front	24.2	Body Up	No
Left Rear	3.8	Brake Lock	On
Right Rear	22.6	Haul Cycle State	Tare Zone
Speed	KM / Hour	Weight	Metric Tons
Truck	0.0	Sprung Weight	75
Lights			
<input type="checkbox"/> Green Light <input type="checkbox"/> Amber Light <input type="checkbox"/> Red Light			
Set FileName		Start Log	Stop Log
Set Lights		Close	

Fig. 3.13. Valores de presión en las suspensiones.

CAPITULO 4

SISTEMA HIDRAULICO

El presente capítulo abarcaremos el monitoreo del sistema hidráulico de freno, dirección y levante; siendo éstos sistemas de mucha importancia para la seguridad y confort durante la operación del camión. Se describirá con detalle los diferentes sistemas de seguridad del freno y las relaciones entre ellos.

Los sistemas de freno, dirección y levante trabajan con el mismo aceite el cual es analizado con una determinada frecuencia para poder predecir alguna falla, que pueda estar ocasionando que el sistema hidráulico o parte de él no esté funcionando correctamente.

4.1 Sistema hidráulico de freno

El camión Komatsu 730E está equipado con frenos de disco actuados hidráulicamente. Las ruedas delanteras tienen tres calipers aplicando el esfuerzo de frenado hacia un disco simple en cada rueda. Las ruedas posteriores tienen dos discos, uno interno y otro externo, con un caliper por cada disco. Cada disco externo posterior también tiene dos caliper de freno de parqueo.

La función fundamental del sistema de freno es de proporcionar al operador el control necesario para detener el camión de una manera modulada lenta o en una

distancia corta razonablemente posible, el sistema de freno es necesario que cumpla las siguientes funciones para una operación segura del camión:

- Advertir al operador tan pronto como sea posible una pérdida potencialmente seria de presión de freno de manera que se tome una acción correcta para detener el camión antes de que el sistema secundario esté descargado.
- Proporcionar circuitos de freno secundarios tal que alguna falla deje al camión con suficiente potencia de detención.
- Aplicar automáticamente los frenos de servicio si la advertencia de baja presión es ignorada y la presión continúa bajando.
- Frenar las ruedas con el freno de traba para aliviar al operador de pisar el pedal de freno mientras el equipo está descargando en botadero o cargando en Pala.
- Frenos de parqueo aplicados por resorte para sostener, no para detener, el camión durante periodos de carga, descarga o estacionamiento.
- Sistema de freno fácil de diagnosticar y hacer el servicio necesario.

El sistema de freno consiste de dos componentes principales; la válvula de pedal de freno de circuito dual (corazón del sistema) y el manifold de freno. La válvula de pedal de circuito dual es el único componente situado en la cabina del operador. El resto del sistema, incluyendo el manifold de freno, circuitos acumuladores y componentes eléctricos están localizados en una cabina impermeable detrás de la cabina del operador.

El manifold de freno contiene circuitos duales aislados por válvulas check, válvulas bleed down de acumuladores y válvulas para freno de traba (brake lock), freno de parqueo y funciones de aplicación automática.

En el camión Komatsu 730E hay dos significados independientes de actuación de freno, el pedal de freno de servicio y el switch de freno de traba (brake lock). El primero actúa sobre los calipers de las ruedas delanteras y posteriores, mientras que el segundo solo actúa sobre las ruedas posteriores.

4.1.1 Freno de servicio

El freno de servicio proporciona al operador el control preciso que necesita para modular la presión de freno para detener suavemente el camión o desarrollar un frenado completo para detenerlo tan rápidamente como sea posible. El corazón de este circuito es la válvula de pedal de freno de circuito dual. Esta válvula permite al operador controlar la alta presión dentro de los acumuladores de freno que van dirigidos hacia los caliper de frenos. Hay dos válvulas en la válvula de pedal de freno, una suministra presión de aplicación para los frenos en el eje delantero, la otra suministra presión a los frenos en el eje posterior.

Cuando el pedal es aplicado, cada válvula dentro de la válvula de pedal de circuito dual entrega fluido de su respectivo acumulador hacia los frenos de las ruedas en una presión proporcional a la posición del pedal y la fuerza.

Los acumuladores de freno tienen dos funciones, almacenar energía para frenado en el caso de una falla y proporcionar rápido fluido de aceite

para una buena respuesta de los frenos. Aplicando el pedal de freno también actúa el switch de presión de luz de parada, quien a su vez hace actuar a la luz indicadora de freno de servicio y detiene la propulsión.

En la figura 4.1 se observa los dos acumuladores de freno y el manifold de freno que están detrás de la cabina del operador.



Fig. 4.1. Acumuladores y manifold de freno.

4.1.2 Freno de parqueo

El freno de parqueo es aplicado por resorte y liberado hidráulicamente. Cuando el solenoide del freno de parqueo SV2 es desenergizado, un resorte en la válvula solenoide cambiará la posición del

spool para permitir la aplicación del freno de parqueo. El freno de parqueo tiene dos estados dependiendo del motor diesel y del switch de freno de parqueo, a continuación se detallan los estados del freno de parqueo, es necesario observar el anexo H, Plano hidráulico del sistema de frenos:

Freno de parqueo aplicado, switch de freno de parqueo ON: El solenoide del freno de parqueo SV2 es desenergizado. La presión de aceite en las líneas de freno de parqueo retornan hacia tanque y los resortes en el freno de parqueo aplicarán el freno. El switch de presión de freno de parqueo cerrará, completando una ruta a tierra, e iluminará la luz de freno de parqueo en la cabina.

Freno de parqueo desaplicado, switch de freno de parqueo OFF: El solenoide de freno de parqueo SV2 es energizado. El flujo de aceite es direccionado del solenoide de freno de parqueo hacia los calipers de freno de parqueo para liberar.

El circuito de freno de parqueo esta protegido contra la aplicación accidental monitoreando la velocidad del motor de tracción para determinar la velocidad del camión. El freno de parqueo no aplicará hasta que el camión este virtualmente detenido, esto elimina daños al freno de parqueo y extiende los intervalos de cambio de frenos. Si el motor es apagado, estando el switch de freno de parqueo en ON u OFF, el freno de parqueo no aplicará hasta que la velocidad del camión sea menos de 0.5 Km/h.

Si ocurre una pérdida de presión hidráulica con el switch de freno de parqueo en OFF, el solenoide de freno de parqueo estará todavía energizado. El circuito de suministro (que ha perdido presión) todavía abrirá a los calipers del freno de parqueo. Para prevenir que el aceite a presión del freno de parqueo retorne hacia el circuito de suministro, una válvula check (en el circuito de freno de parqueo) atrapa el aceite, manteniendo el freno de parqueo en la posición liberada.

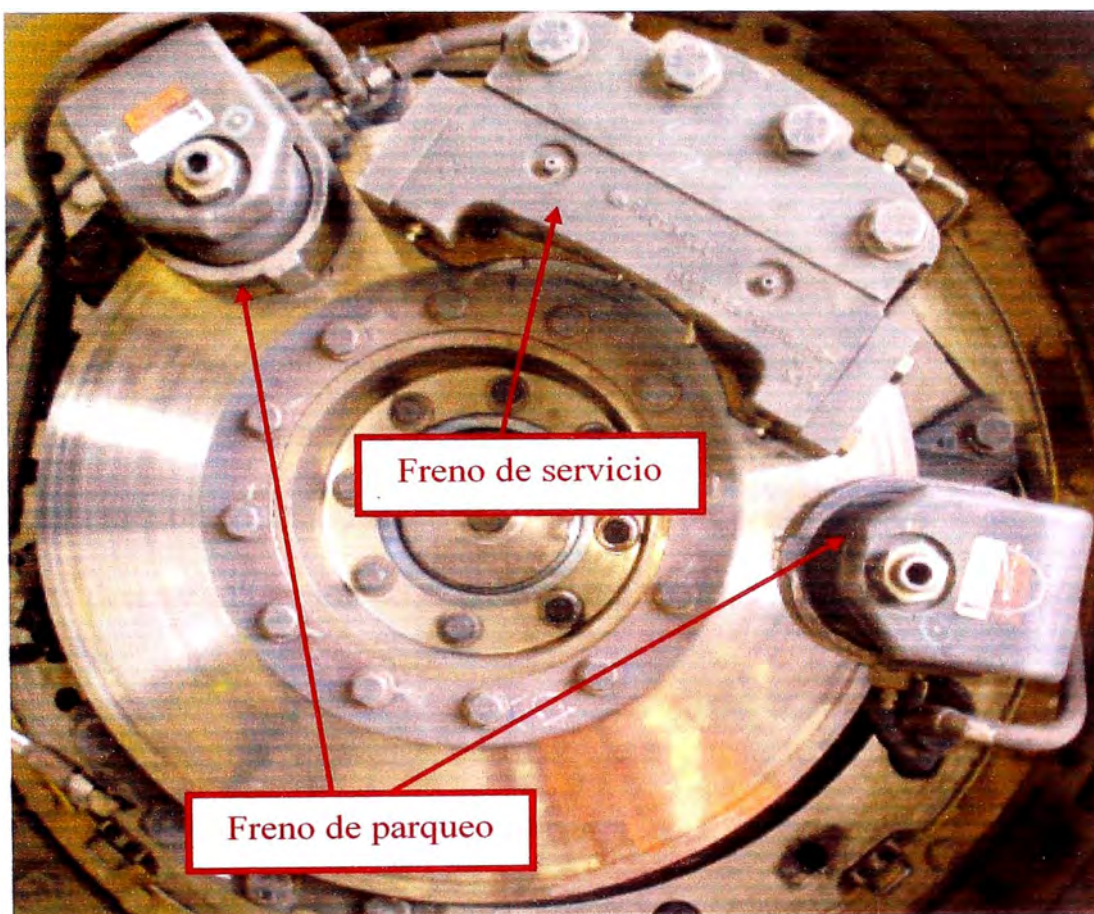


Fig. 4.2. Freno de servicio y parqueo.

En la figura 4.2 se observa el freno de servicio (caliper en forma rectangular) y los dos frenos de parqueo (caliper en forma circular).

Si el voltaje de suministro de 24v hacia el solenoide es interrumpido, el freno de parqueo se aplicará en cualquier velocidad del camión. El resorte en el solenoide causará el cambio, abriendo una ruta para la presión de aceite en la línea de freno de parqueo para retornar hacia tanque y los resortes en los frenos de parqueo aplicarán los frenos. El switch de presión de freno de parqueo se cerrará iluminando la luz de freno de parqueo de la cabina e interrumpiendo la propulsión.

4.1.3 Freno de traba (brake lock)

La función principal del freno de traba (brake lock) es de proporcionar un recurso al operador para detener el camión mientras está cargando en Pala o descargando en botadero. El freno de traba solamente aplica los frenos de servicio posteriores. Esto puede también proporcionar un segundo recurso para detener el camión en el caso de que falle el recurso primario (válvula de pedal de freno).

Aplicando el switch de freno de traba, la válvula solenoide SV1 y la válvula reductora de presión aplicarán presión de aceite a **1,500 psi** para actuar completamente los frenos posteriores. Una válvula en la línea de freno posterior proporciona la independencia de la válvula de pedal de freno con respecto al freno de traba.

4.1.4 Freno secundario y aplicación automática

Una función fundamental del sistema de freno secundario es de proporcionar reserva de freno en el caso de alguna falla. Por esta razón el sistema está dividido en múltiples circuitos, cada uno con su propia válvula check, acumulador y circuito regulador. El sistema secundario viene a ser cualquier circuito operable después de ocurrida una falla. Si la falla es la válvula de pedal bloqueada, entonces el freno de traba (brake lock) viene a ser el sistema secundario, de otra manera, cualquiera de los dos circuitos de freno debería ser el sistema secundario.

Los acumuladores de freno realizan dos funciones, rápido flujo para buena respuesta al frenar y almacenar energía para el sistema secundario. Las válvulas check aseguran que la energía este retenida debido a una falla ocurrida en el suministro del sistema de freno o en un circuito acumulador.

Si ocurre una falla en la bomba, dirección o en algún circuito acumulador de freno, una luz de advertencia de baja presión de freno y una alarma audible (en la cabina) actuarán y el camión deberá ser detenido tan pronto como sea posible. Cuando la presión en un circuito acumulador es menor al nivel prefijado, todos los frenos de servicio serán automáticamente aplicados. La aplicación automática de freno es ejecutado por el “Automatic Aply Valve” (PS1), localizado en el manifold de freno. Esta válvula sensa la baja presión del acumulador de freno, y cuando la presión es menor a **1,650 psi**, la válvula cambia, operando hidráulicamente la válvula de pedal de freno y aplicando todos los frenos por completo.

Sin tener en cuenta la naturaleza de la falla, al darse cuenta de la baja presión de freno, el sistema asegura dos o cuatro pisadas de freno por completo después que la alarma y luz de advertencia de baja presión hayan sido activadas, y antes de la aplicación automática. Esto le permite al operador detener con seguridad el camión después de mostrada la alarma.

4.1.5 Circuito de alarma de freno

El circuito de alarma de freno esta equipado con una luz de advertencia de baja presión de freno (en el panel) y una alarma audible (en la cabina) para alertar al operador de la baja presión de freno. Varios sensores eléctricos, un relay y un delay timer (temporizador de retraso) son usados para detectar problemas en el sistema de frenos, a continuación se indicarán las funciones que cumplen, para ello es necesario observar el anexo H:

Sensor de presión, presión de suministro del sistema: Localizado en el manifold del bleed down. Cuando la presión de suministro del sistema cae por debajo de **2,100 psi** se activarán la luz de baja presión de dirección, la luz de baja presión de freno y la alarma.

Sensor de presión, baja presión de freno: Localizado en el manifold de freno. Cuando un acumulador con baja presión cae por debajo de **1,850 psi** se activarán la luz de baja presión de freno y la alarma.

- **Switch de presión diferencial:** Localizado en la válvula de pedal de circuito dual. Durante la aplicación del freno, si la diferencia en la aplicación de freno entre los circuitos delanteros y posteriores es mayor que el nivel seteado se activarán la luz de baja presión de freno y la alarma. El switch de presión diferencial completa una ruta a tierra para activar la luz de baja presión de freno y la alarma. El switch de presión diferencial detecta una falla entre los circuitos delanteros y posteriores, tal como la ruptura de una línea de freno, líneas obstruidas, excesivo desplazamiento de los frenos o aire atrapado en el sistema.

- **Switch de disminución de freno de traba:** Localizado en la cabina de freno. Cuando el switch de freno de traba es activado, el solenoide de freno de traba y el relay de alarma de freno son energizados. El relay de alarma de freno cambia la conexión eléctrica del switch de presión diferencial hacia el switch de disminución de freno de traba. Si la presión de aplicación de freno de traba es menos de **1,000 psi**, una ruta a tierra se cerrará y se activarán la luz de baja presión de freno y la alarma.

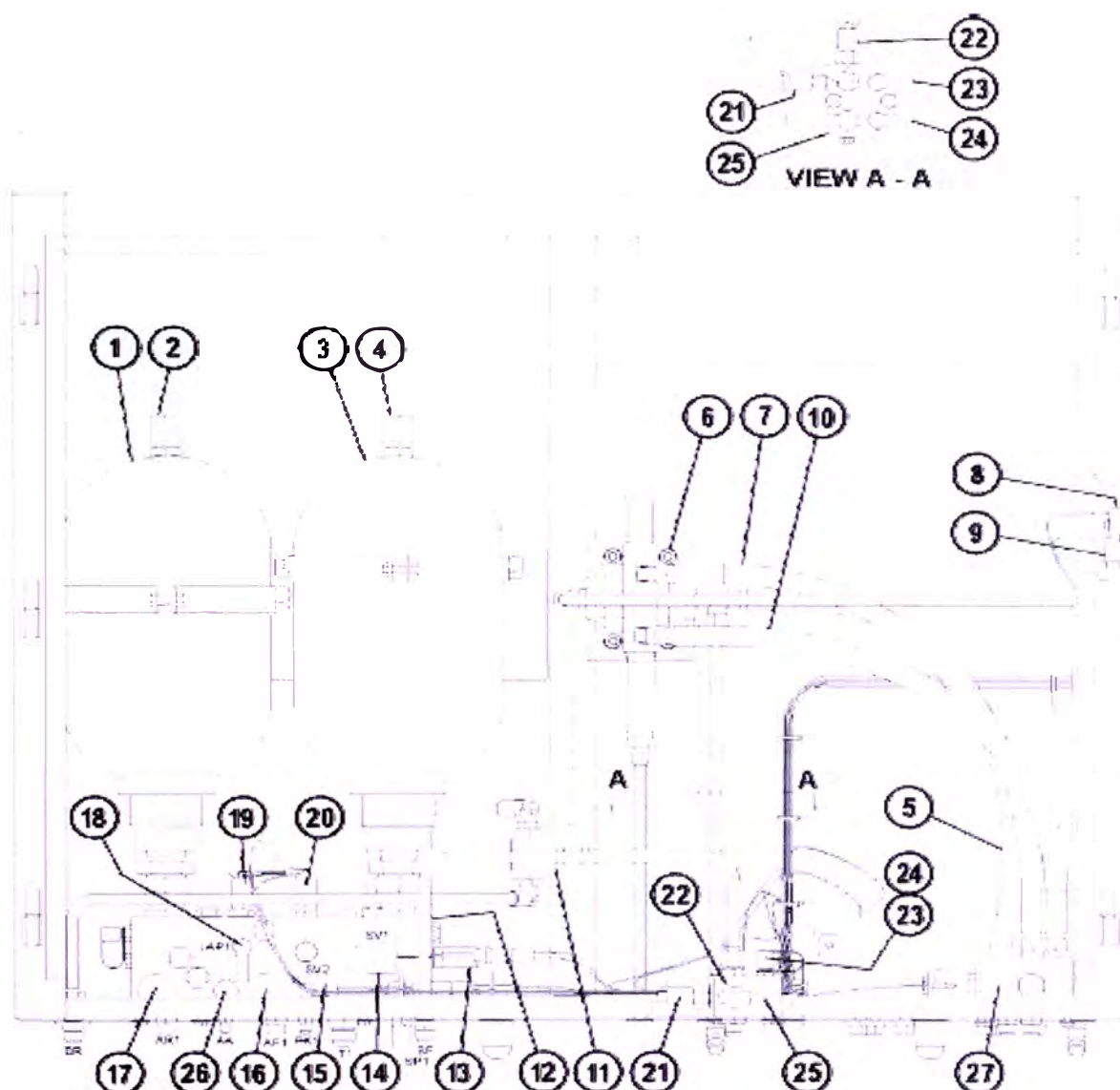
- **Relay de alarma de freno:** Localizado en la cabina de freno. Cuando el switch de freno de traba es activado, el relay de alarma de freno es energizado y cambia la conexión eléctrica del switch de presión diferencial hacia el switch de disminución de freno de traba. Cuando

el switch de freno de traba es desactivado, el relay de advertencia de freno es desenergizado y cambia la conexión eléctrica del switch de disminución de freno de traba hacia el switch de presión diferencial.

- **Delay Timer de alarma de freno:** Localizado en la cabina de freno. El Delay Timer está conectado en serie entre la luz de baja presión de freno, el relay de alarma de freno y dos switches, el switch de presión diferencial y el switch de disminución de freno de traba. Si algún switch completa una ruta a tierra, el Delay Timer no completará el circuito por 1.2 seg. Esto le permitirá el suficiente tiempo a los frenos hidráulicos para alcanzar la presión correcta después de la actuación para evitar falsas alarmas.

4.1.6 Procedimiento de inspección del circuito de freno

La presión hidráulica del circuito de freno es suministrada del circuito de la dirección del bleed down manifold. Algunos problemas del sistema de freno tal como frenos flojos, suave alivio de freno u operación anormal de la luz de advertencia de “baja presión de freno” montada en el panel, pueden algunas veces estar localizadas en fugas internas de componentes de frenos. Si la fuga interna dentro del circuito de la dirección es excesiva, esto también puede contribuir a problemas dentro del circuito de freno. Estar seguro que la fuga en el circuito de la dirección no es excesiva antes de solucionar los problemas del circuito de freno.



- | | |
|---------------------------------------|------------------------------------|
| 1. Rear Brake Accumulator | 15. Park Brake Solenoid (SV2) |
| 2. Charging Valve | 16. Front Brake Accum. Bleed Valve |
| 3. Front Brake Accumulator | 17. Rear Brake Accum. Bleed Valve |
| 4. Charging Valve | 18. Low Accum. Test Port (LAP1) |
| 5. Relief Valve (Hoist Power Down) | 19. Low Brake Pressure Switch |
| 6. Hoist Pilot Valve | 20. Park Brake Pressure Switch |
| 7. To Hoist Pilot Manifold Power Down | 21. Stop Light Pressure Switch |
| 8. Brake Warning Delay Timer | 22. Brake Lock Degradation Switch |
| 9. Brake Warning Light Relay | 23. Rear Brake Pressure Test Port |
| 10. To Hoist Pilot Manifold Power Up | 24. Front Brake Pressure Test Port |
| 11. Brake Lock Shuttle Valve | 25. Manifold |
| 12. Brake Manifold | 26. Automatic Apply Valve |
| 13. Pressure Reducing Valve (PR) | 27. Hoist Pilot Manifold |
| 14. Brake Lock Solenoid (SV1) | |

Fig. 4.3. Componentes del gabinete de frenos.

El circuito de la dirección puede estar aislado del circuito de freno quitando la línea de suministro de freno del bleed down manifold. Tapar la línea de suministro de freno y el puerto en el bleeddown manifold.

Antes de chequear el sistema de freno, el sistema hidráulico de dirección debe tener la adecuada precarga de sus acumuladores y estar arriba de la temperatura de operación normal. También estar seguro que el freno de parqueo está ajustado correctamente.

En minera Barrick el camión 730E en la parte posterior de la cabina está el compartimiento de los componentes del freno principalmente acumuladores y manifold de freno, en la figura 4.3 se muestra el esquema y su nomenclatura en inglés que es fácilmente entendible.

Se ha desarrollado un formato de PM Clinic denominado “**PM Clinic Sistema de frenos 730E**” el cual se puede ver en el anexo I, dicho PM Clinic es realizado como parte del mantenimiento predictivo que se realiza a los camiones.

4.2 Sistema hidráulico de dirección

El aceite hidráulico del tanque es suministrado hacia una bomba de tipo paletas del circuito de dirección y freno, a un régimen de 62 GPM (235 l/min.) @ 1,900 RPM. La válvula descargadora (10) unida al puerto de salida de la bomba controla la presión de salida. Algunos componentes del circuito de dirección se muestran en la figura 4.4.

El aceite de la bomba es direccionado hacia el filtro de alta presión (9) antes de entrar al bleed down manifold (1). La válvula bleed down provee de varias

funciones al sistema y es usada para dirigir el flujo de aceite hacia los sistemas de dirección y sistema de frenos.

El aceite del sistema de dirección es direccionado hacia los acumuladores (2), utilizados para almacenar aceite a presión. Ellos son usados para suministrar aceite al sistema de dirección en operación normal y en el caso de pérdida de presión de la bomba, asimismo proporcionan un respaldo para suministrar aceite al sistema de freno. El aceite también es direccionado hacia la válvula amplificadora de flujo (3) para ser usada por la válvula de control de la dirección y los cilindros de dirección.

Un volumen pequeño de aceite es suministrado del amplificador de flujo hacia la válvula de control de la dirección, montado en la columna de la dirección en la cabina. Cuando el operador mueve la volante de la dirección, el aceite es direccionado de la válvula de control de la dirección hacia el amplificador de flujo, basado en la dirección y en el régimen de velocidad de rotación de la volante de la dirección.

El amplificador de flujo proporciona un volumen grande de aceite para los cilindros de dirección para girar las ruedas delanteras basadas en la entrada de la válvula de control de la dirección. A continuación se muestran enumerados algunos componentes del sistema de dirección.

- (1) Válvula bleed down.
- (2) Acumuladores de dirección.
- (3) Válvula amplificadora de flujo.
- (4) Múltiple de cilindro de dirección.
- (5) Mangueras hacia cilindros de dirección.
- (6) Conectores rápidos.

- (7) Tanque de combustible.
- (8) Filtro del sistema levante.
- (9) Filtro del sistema de dirección y frenos.
- (10) Válvula descargadora.

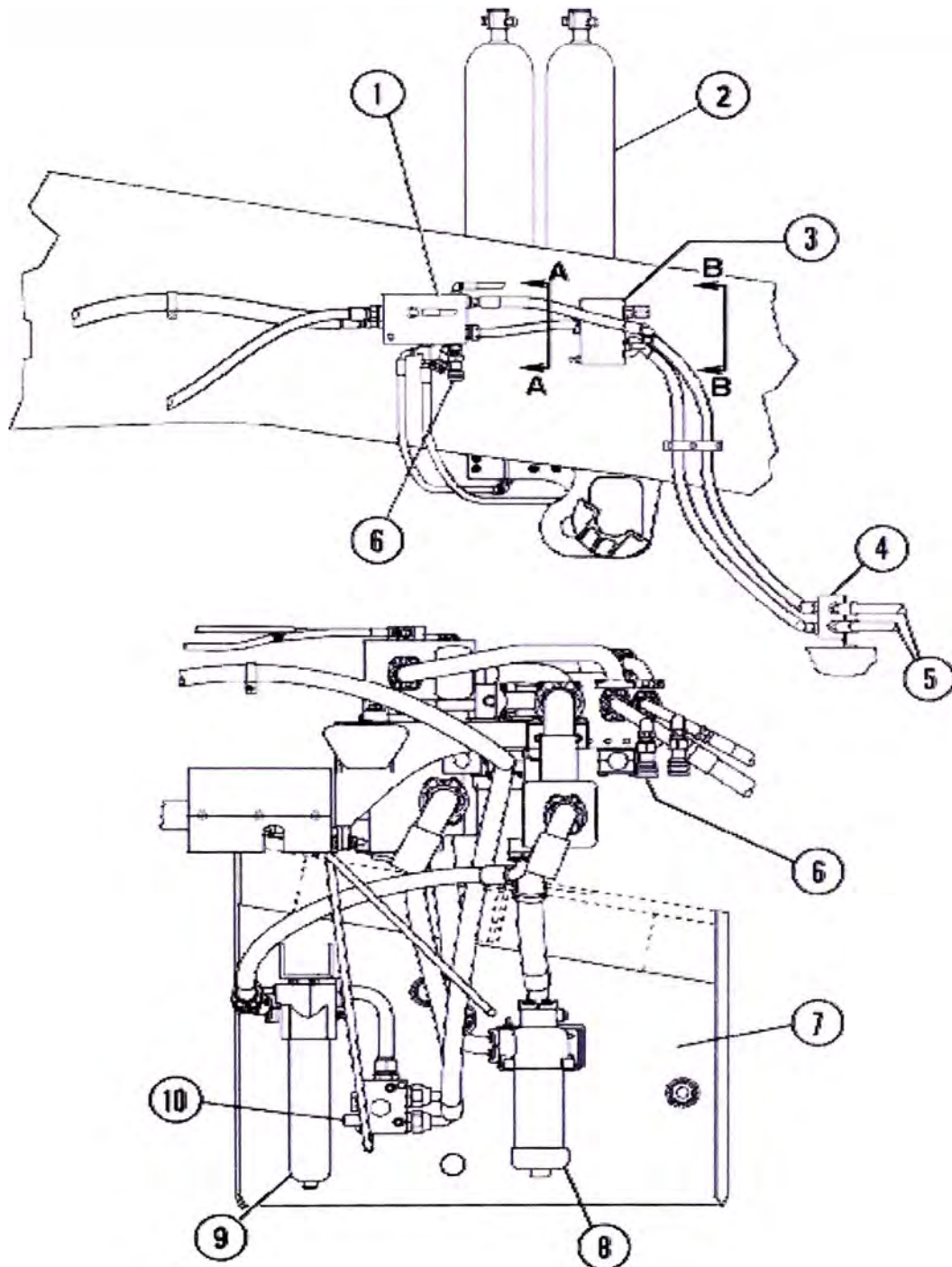


Fig. 4.4. Componentes del sistema de dirección.

4.2.1 Componentes del sistema hidráulico de dirección

Algunos componentes del circuito de dirección son descritos a continuación.

4.2.1.1 Válvula de control de dirección

La válvula de control de la dirección está montada dentro de la cabina y está directamente acoplada a la columna de la dirección.

La operación de la válvula de dirección es manual e hidráulica. La válvula de la dirección incorpora una válvula de control hidráulico. Al actuar la volante de la dirección hace actuar la válvula, que a su vez dirige aceite hidráulico a través de la válvula amplificadora de flujo hacia los cilindros de dirección para proporcionarle al operador la potencia necesaria en la dirección.

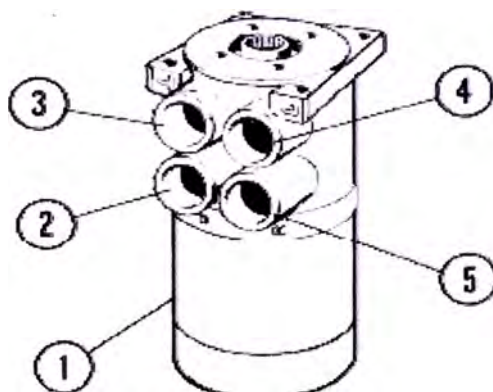


Fig. 4.5. Válvula de control de la dirección.

En la figura 4.5 se muestra la válvula de control de la dirección y sus partes internas.

- (1) Conjunto de la válvula de control.
- (2) Puerto de entrada.
- (3) Puerto de retorno a tanque.
- (4) Puerto de pilotaje hacia la izquierda.
- (5) Puerto de pilotaje hacia la derecha.

4.2.1.2 Válvula descargadora

La válvula descargadora desvía el aceite entre los circuitos de levante y dirección, con prioridad hacia el circuito de la dirección. El puerto del circuito de la dirección también suministra al circuito de freno por medio de la válvula bleed down. Cuando el circuito de la dirección alcanza 2,950 psi (20.3 MPa), la válvula descargadora descarga dirigiendo el flujo de aceite hacia el circuito de levante. Cuando el circuito de la dirección alcanza 2,500 psi (17.2 MPa), la válvula descargadora carga dirigiendo el flujo de aceite hacia el circuito de dirección. Si no hay demanda en el circuito de levante el aceite es regresado al tanque hidráulico.

En la figura 4.6 se muestra la válvula descargadora y sus partes internas.

- (1) Válvula de presión diferencial.
- (2) Válvula check.
- (3) Cuerpo de la válvula.
- (4) Entrada del filtro.
- (5) Puerto de prueba.
- (6) Retorno a tanque.

- (7) Pilotaje de la válvula descargadora.
- (8) Drenaje.
- (9) Puerto de prueba.
- (10) Suministro hacia la dirección.

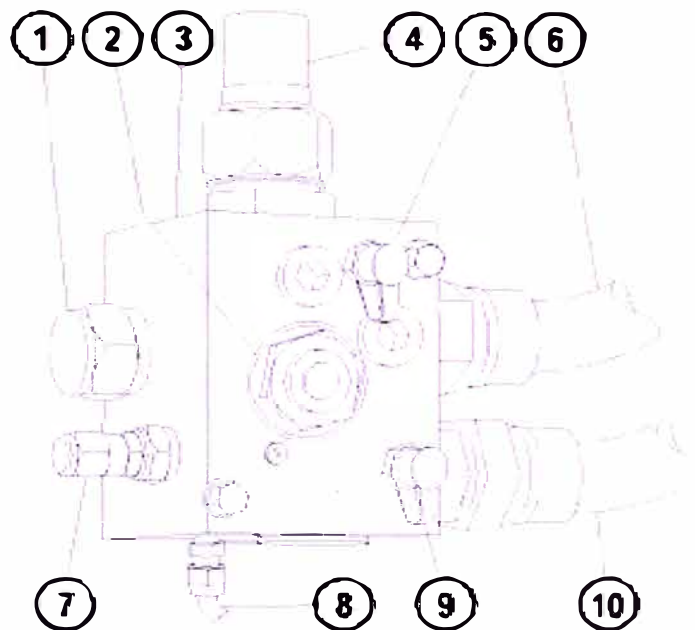


Fig. 4.6. Válvula descargadora.

4.2.1.3 Válvula bleed down

La válvula bleed down está localizado en la parte interna del frame izquierdo justo debajo del amplificador de flujo.

La válvula bleed down está equipada con un puerto de unidad de potencia auxiliar y desconectores rápidos (9) para ser usados por un aceite externo para suministro y retorno en caso de emergencia.

La válvula bleed down recibe aceite del filtro de alta presión y lo dirige hacia los acumuladores, circuito de freno y amplificador de flujo. El

suministro de aceite para la válvula de control de la dirección y cilindros de dirección es suministrado por el amplificador de flujo.

En la figura 4.7 se muestra la válvula bleed down y sus partes internas.

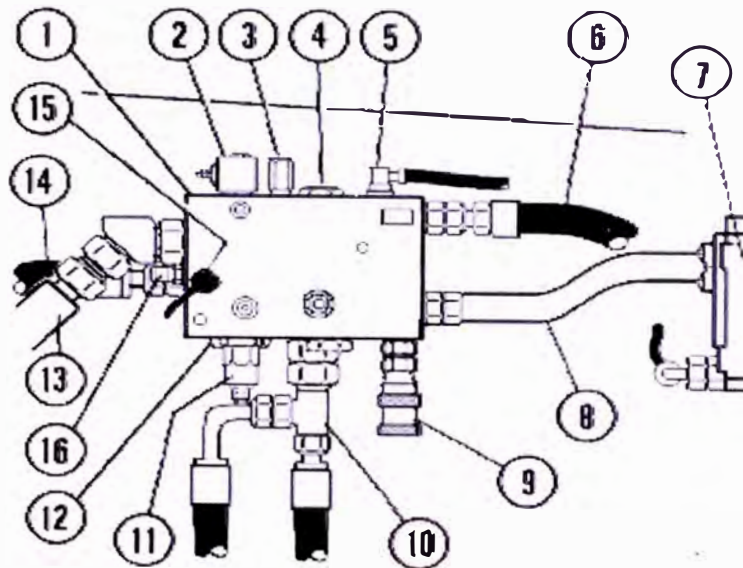


Fig. 4.7. Válvula bleed down.

- (1) Cuerpo de la válvula.
- (2) Solenoide de bleed down.
- (3) Válvula de alivio, 500 psi.
- (4) Válvula check.
- (5) Suministro hacia el circuito de freno.
- (6) Retorno del amplificador de flujo.
- (7) Amplificador de flujo.
- (8) Suministro hacia amplificador de flujo.
- (9) Desconectares rápidos auxiliares.
- (10) Hacia acumuladores.

- (11) Válvula de alivio, 4,000 psi.
- (12) Válvula check.
- (13) Retorno a tanque.
- (14) Entrada de filtro.
- (15) Switch de baja presión de dirección.
- (16) Puerto de prueba.

4.2.1.4 Bomba de dirección y frenos

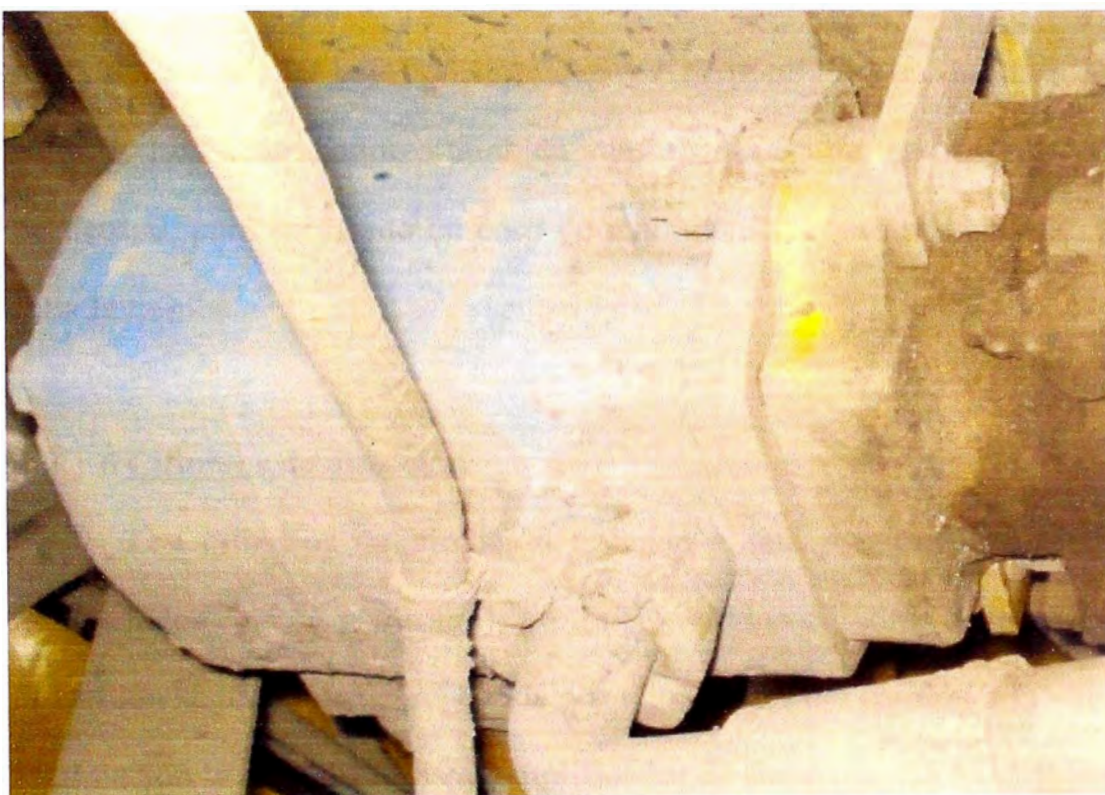


Fig. 4.8. Bomba de dirección y frenos.

La bomba de dirección y frenos está montada en la parte posterior de la bomba de levante. La bomba es de tipo paletas con la presión controlada por la válvula descargadora. Bajo condiciones seguras la bomba de dirección

y frenos es utilizada para complementar al circuito de levante siempre y cuando la demanda del circuito de dirección y frenos haya sido cubierta.

4.2.1.5 Acumuladores de la dirección

Los acumuladores de la dirección son de tipo pistón. La parte superior de los acumuladores están cargados a 1,400 psi con puro nitrógeno seco. El aceite que ingresa a los acumuladores empuja hacia arriba al pistón comprimiendo el nitrógeno en la parte superior del pistón. Cuando la presión del circuito de la dirección alcanza 2,950 psi los acumuladores retienen una cantidad de aceite bajo presión que es disponible para la dirección del camión. Los acumuladores también suministran aceite, por un corto periodo de tiempo, para ser usado en caso de emergencia, como por ejemplo cuando falla la bomba.

4.2.1.6 Cilindros de dirección

Los cilindros de dirección trabajan a una presión de 2,500 psi en ambos lados (pistón y vástago). La función de los cilindros es de direccionar el camión según la orden realizada por el operador del camión a la válvula de la dirección la cuál gobierna al amplificador de flujo.

Por el lado del vástago de ambos cilindros están unidos mediante rótulas a una barra de dirección que es completamente rígida y cuya función es de proporcionar estabilidad a los cilindros.



Fig. 4.9. Cilindro de dirección.

4.3 Sistema hidráulico de levante

El aceite hidráulico del tanque es suministrado hacia una bomba de tipo engranajes del circuito de levante, a un régimen de 135 GPM (511 l/min.) @ 1,900 RPM. El aceite del puerto de salida de la bomba es direccionado hacia un filtro de alta presión (9) y luego ingresa a la válvula de levante (6).

La válvula de levante dirige el flujo de aceite hacia los cilindros de levante (1) cuando el operador mueve la palanca de control de la tolva. La palanca de tolva está conectada hacia la válvula piloto de levante, localizada en la cabina hidráulica, por medio de un cable de control flexible.

Si la demanda de aceite del sistema de dirección y frenos ha sido satisfecha, el flujo de aceite del circuito de dirección es direccionado por medio de la válvula

descargadora (10) hacia la válvula de levante para complementar el flujo de la bomba de levante, resultando en un incremento en la velocidad del levante de la tolva.

En la figura 4.10 se muestra los componentes del sistema de levante.

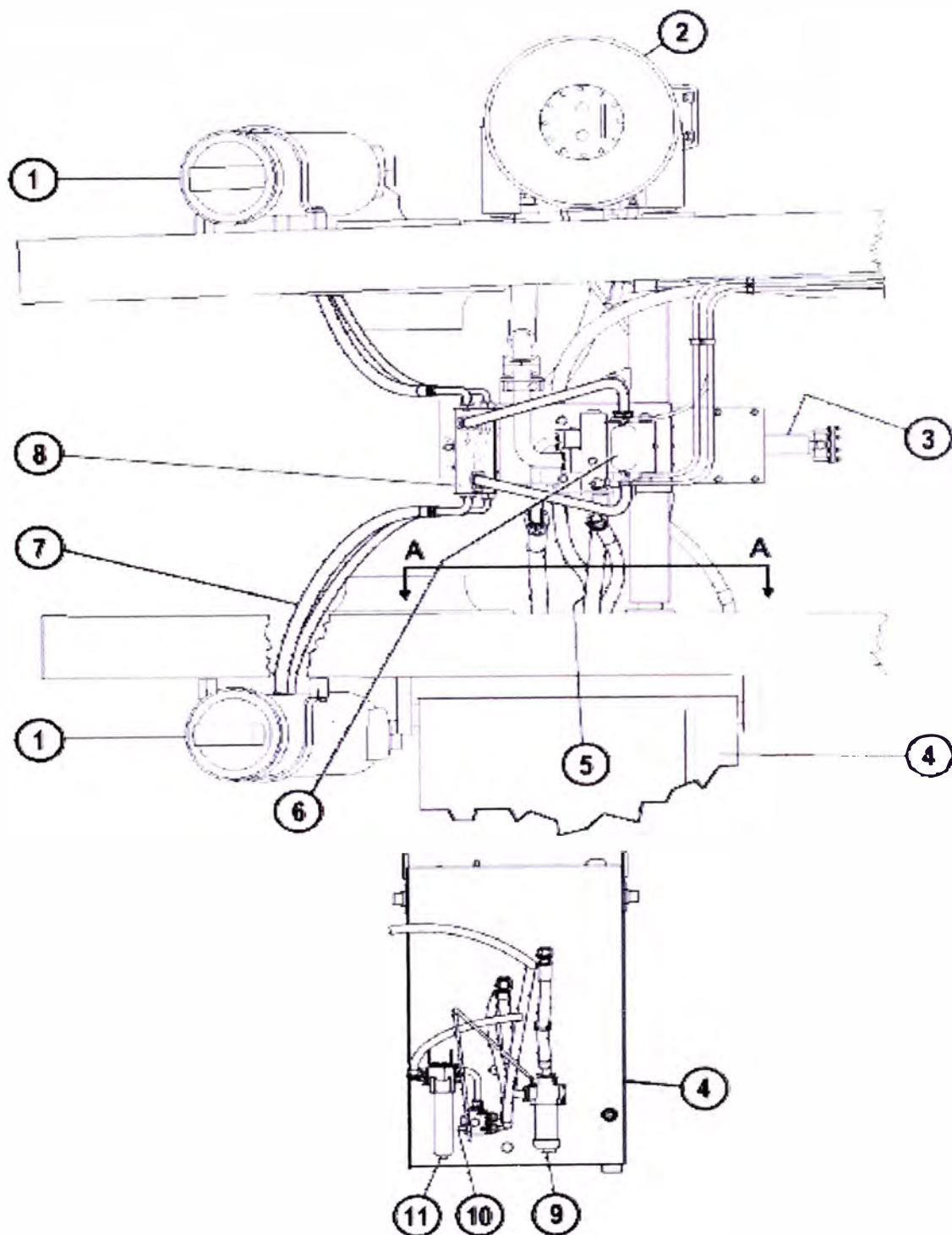


Fig. 4.10. Componentes del sistema de levante.

- (1) Cilindro de levante.
- (2) Tanque hidráulico.
- (3) Eje de mando de bombas.
- (4) Tanque de combustible.
- (5) Manguera del filtro de levante.
- (6) Válvula de levante.
- (7) Mangueras del cilindro de levante.
- (8) Múltiple central.
- (9) Filtro de levante.
- (10) Válvula descargadora.
- (11) Filtro del sistema de dirección y frenos.

4.3.1 Componentes del sistema hidráulico de levante

4.3.1.1 Bomba de levante

La bomba del sistema de levante es una bomba de tipo engranajes comandado por un eje pasante a través del lado posterior del alternador principal. La presión de levante está limitada a 2,500 psi por medio de la válvula de alivio localizada dentro de la válvula de control de levante.

El aceite de salida de la bomba de levante es direccionado hacia el filtro de alta presión, dicho filtro está equipado con una válvula bypass que permite flujo de aceite si el elemento del filtro se obstruye demasiado. La restricción del flujo a través del filtro es sentido por un switch, éste switch activará una luz de advertencia en la cabina del operador cuando la restricción

alcanza 40 psi y la actuación del bypass del filtro se dará cuando la restricción sea de 50 psi. Dicha restricción se da cuando existe gran desprendimiento de partículas dentro del sistema hidráulico, provenientes de bombas, cilindros, válvulas, contaminación externa, etc.

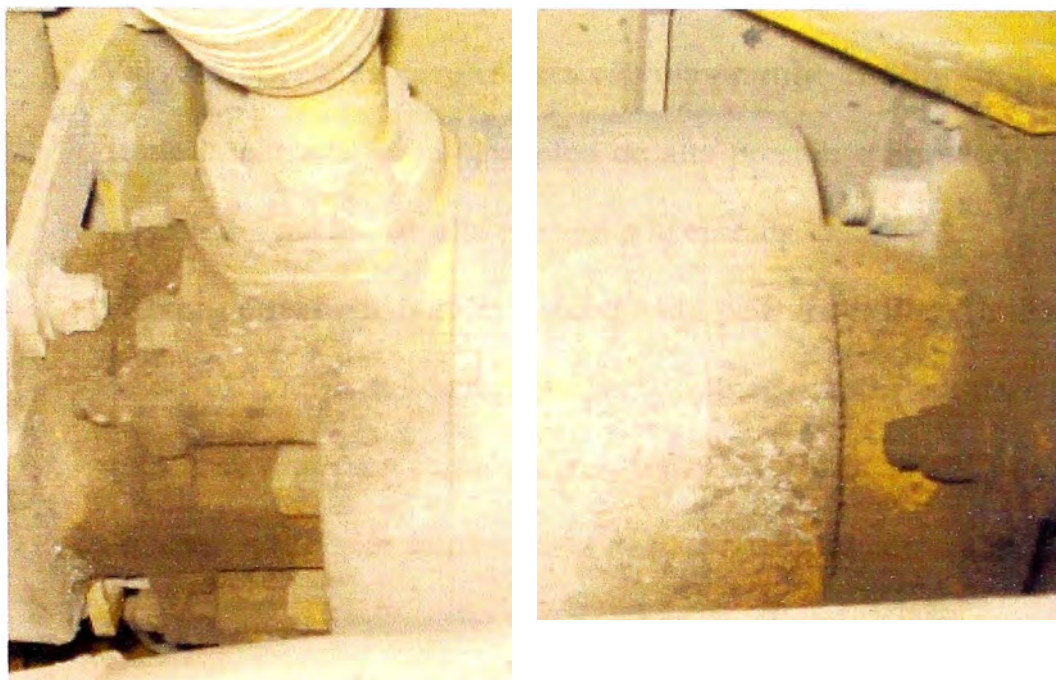


Fig. 4.11. Bomba de levante.

4.3.1.2 Válvula de levante

La válvula sigue las señales de entrada de presión diferencial generadas por la válvula piloto de levante. La sección de entrada de la válvula de levante consiste de los siguientes componentes:

- **Válvula de alivio principal y control de flujo:** La porción de alivio de la válvula es de actuación directa y tiene la capacidad de limitar la presión de trabajo con la bomba a flujo total. La porción de control de

flujo permite que el flujo de la bomba regrese a tanque a través de la sección de entrada con baja pérdida de presión.

- **Válvula de alivio de baja presión:** Ésta válvula proporciona una presión controlada de retorno en el núcleo de baja presión cuando el aceite es retornado a tanque.
- **Válvula check de carga:** Ésta válvula permite el libre flujo de aceite desde la entrada hasta el núcleo de alta presión e impide que el flujo regrese del núcleo de alta presión a la entrada.
- **Válvula check antivació:** Ésta válvula permite el libre flujo de aceite desde el núcleo de baja presión e impide que el flujo regrese del núcleo de alta presión al núcleo de baja presión. La sección de spool de la válvula de levante consiste de los siguientes componentes.
- **Los puertos de pilotaje:** Los puertos de pilotaje están situados en la cubierta de los spool, éstos puertos proporcionan conexiones para una línea de pilotaje hacia la válvula piloto de levante. Cada puerto de trabajo tiene un correspondiente puerto de pilotaje.
- **Los puertos de trabajo:** Los puertos de trabajo proporcionan una línea de conexión entre el spool y los cilindros de levante. Cuando hay flujo de aceite de los puertos de pilotaje hacia los spool, una presión diferencial positiva en la cabeza del spool vencerá al resorte y el spool se moverá para conectar el puerto de trabajo hacia el núcleo de alta presión. Cuando hay flujo de aceite del puerto de trabajo hacia el puerto de pilotaje, una presión diferencial positiva en la parte inferior

del spool vencerá al resorte y el spool se moverá para conectar el puerto de trabajo hacia el núcleo de baja presión.

4.3.1.3 Válvula piloto de levante

El spool de la válvula piloto de levante es un resorte centrado en posición neutral y es controlado directamente por el operador por medio de la palanca de control de tolva. Cuando el operador mueve la palanca, el spool de la válvula piloto se mueve y dirige el flujo de aceite hacia el apropiado puerto piloto de la válvula de levante.

La válvula piloto de levante está equipada con una sola válvula check de carga que permite el flujo de aceite del centro hacia el núcleo del pilotaje y evita el flujo inverso. También contiene una válvula de alivio para limitar la presión a 1,500 psi en el descenso de tolva.

4.3.1.4 Válvula contrabalance

Esta válvula limita la máxima presión a 3,000 psi para prevenir daños a los sellos de los cilindros cuando éstos llegan a su ángulo máximo en el levante. Hay dos presiones de pilotaje que pueden abrirla (presión de levante de pistón y presión de retorno de vástago). Si no hay presión de levante, ésta tomará 3,000 psi de la presión de retorno de vástago para abrirla. Si hay más de 666 psi de presión de levante, la válvula es abierta para el aceite de retorno. Entre éstos dos máximos la relación de presión levante: retorno es de 1:4.5 para abrir el flujo de retorno. En la figura 4.12 se muestra la ubicación de las válvulas de levante y contrabalance.

- (1) Válvula de levante.
- (2) Múltiple contrabalance.
- (3) Válvula de aguja.
- (4) Válvula contrabalance.
- (5) Conectores rápidos.
- (6) Bomba de dirección y frenos.
- (7) Bomba de levante.

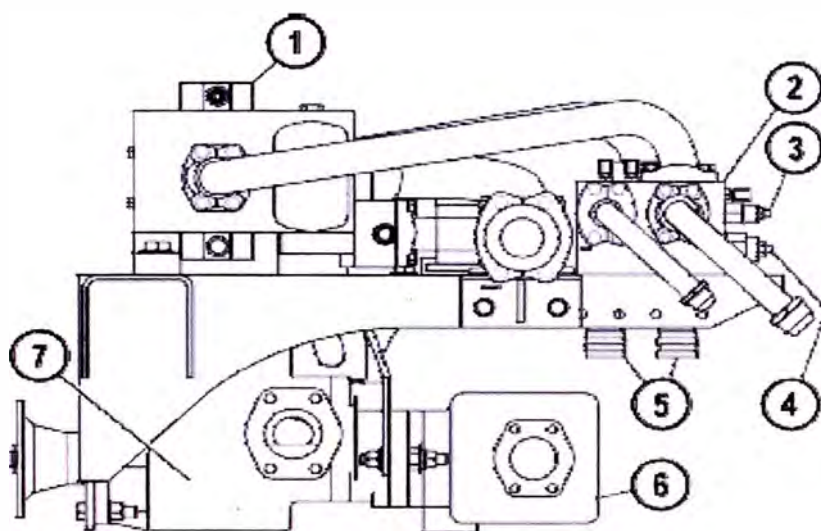


Fig. 4.12. Válvulas de levante y contrabalance.

4.3.1.5 Solenoide límite de levante de tolva

Este solenoide es utilizado en el sistema hidráulico para prevenir la máxima extensión de los cilindros de levante. La válvula solenoide es normalmente abierta y está controlada por un switch de proximidad (switch de límite de levante) localizado cerca al pivote posterior de tolva y a la suspensión posterior derecha.

Cuando la tolva está cerca al levante total, la tolva activará el switch de proximidad magnético, con ello comunicará la línea de pilotaje de levante hacia tanque, deteniendo el flujo de aceite hacia los cilindros de levante.

4.3.1.6 Cilindros de levante de tolva

Los cilindros de levante de tolva son cilindros de tres etapas (el vástago del cilindro tiene tres segmentos) y trabajan a una presión de 3,000 psi en ambos lados (pistón y vástago). La función de los cilindros es levantar la tolva del camión de la forma más estable y rápida posible.

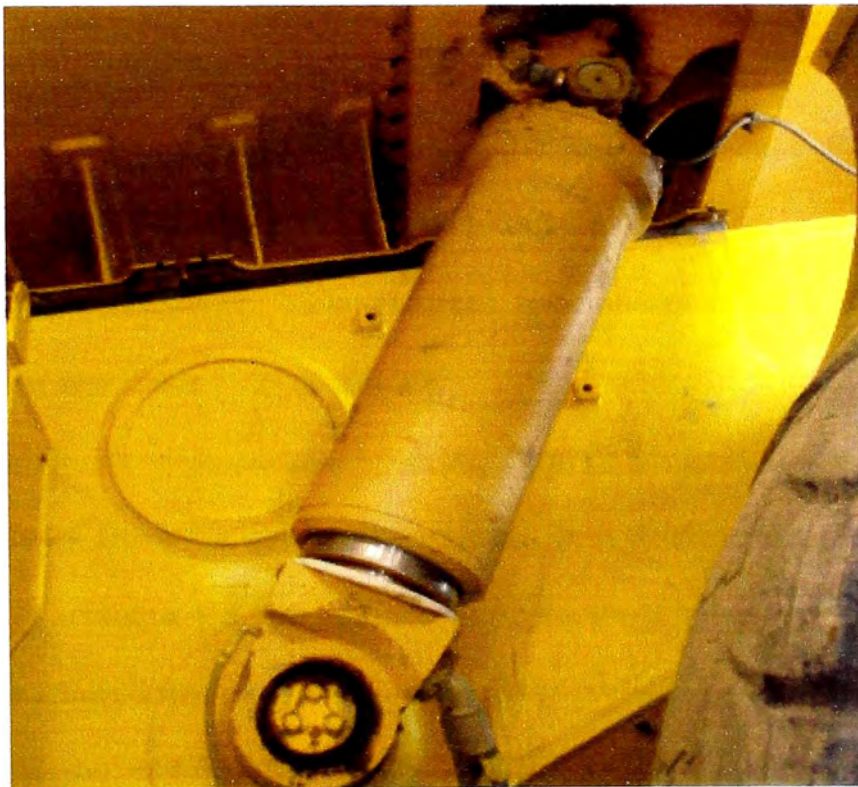


Fig. 4.13. Cilindro de levante de tolva.

Por el lado del vástago, ambos cilindros están unidos mediante pines al chasis (al trunion) y por el lado del pistón unidos a un alojamiento de la

parte externa de la tolva. En la figura 4.13 se muestra el cilindro de levante izquierdo instalado en un camión.

4.3.2 Procedimiento de inspección del circuito de dirección y levante

Se ha desarrollado un formato de PM Clinic denominado “**PM Clinic Sistema de dirección y levante 730E**” el cual se puede ver en el anexo J, dicho PM Clinic es realizado como parte del mantenimiento predictivo que se realiza a los camiones. Es necesario que la baja velocidad en vacío del motor esté entre 700-725 RPM.

4.4 Análisis de aceite del sistema hidráulico

El camión 730E en el sistema hidráulico utiliza el aceite Shell Donax TC 10W cuyas características de rendimiento se indican a continuación:

- Notables y consistentes características friccionales cuando se emplean con materiales metálicos y no metálicos.
- Este aceite ha sido diseñado para cumplir con los requerimientos de viscosidad y fluidez a bajas temperaturas, brindando una protección superior durante el arranque y a condiciones de operación a bajas temperaturas.
- Contiene inhibidores para controlar la oxidación y la formación de depósitos.
- Protege a los metales ferrosos y no ferrosos de la corrosión. Elimina la formación de espuma.

En la tabla 4.1 se indica las características físicas del aceite.

Tabla N° 4.1. Características físicas del aceite Shell Donax TC 10W.

Grado SAE	10W
Viscosidad @ 100°C , cSt	6
Punto de inflamación , °C	200
Punto de fluidez , °C	-33

En el laboratorio de análisis de aceite de Minera Barrick se analiza la muestra de aceite tomada del tanque hidráulico, los límites condinatorios de los principales elementos de desgaste se muestran en la tabla 4.2.

Tabla N° 4.2. Límites condinatorios del aceite Shell Donax TC 10W.

Parámetro	Límite inferior	Límite superior
Viscosidad a 100°C (cSt)	5.5	7
Agua % Volumen	0.2	0.5
Hierro (ppm)	15	30
Cromo (ppm)	4	8
Plomo (ppm)	4	10
Cobre (ppm)	25	60
Estaño (ppm)	4	8
Aluminio (ppm)	6	10
Silicio (ppm)	15	25

4.5 Eventos que fueron encontrados mediante el mantenimiento predictivo

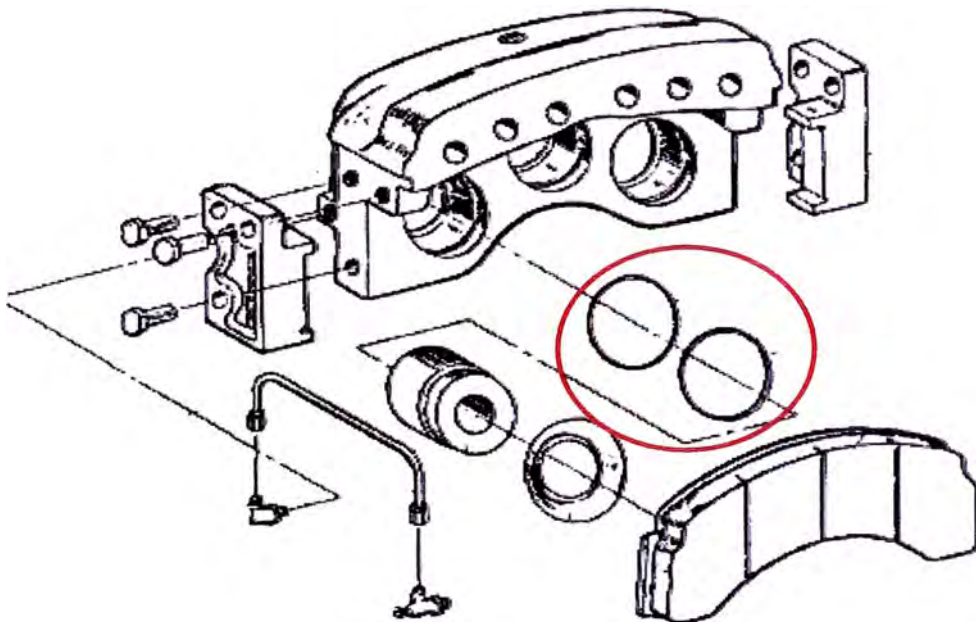
A continuación vamos a describir eventos anormales que fueron encontrados mediante el mantenimiento predictivo.

4.5.1 Falla del o-ring y protector de polvo del pistón de caliper de freno delantero

El o-ring del pistón de los caliper de freno sirve para evitar fuga de aceite de aplicación de freno, de esta manera evitan la caída de presión en el sistema.

Evento encontrado: Durante el mantenimiento programado se procedió a inspeccionar todos los caliper de freno y se encontró fuga de aceite por el caliper de freno delantero derecho, la fuga era debido al desgaste del o-ring y del protector de polvo. Si dicho caliper continuaba trabajando en tales condiciones hubiera ocasionado caída de presión en el sistema de freno y en el camión se hubiera activado la alarma de baja presión de freno.

Trabajo realizado: Se procedió a reparar el caliper, solo se cambió los o-ring y los protectores de polvo. Las pastillas estaban en buenas condiciones.



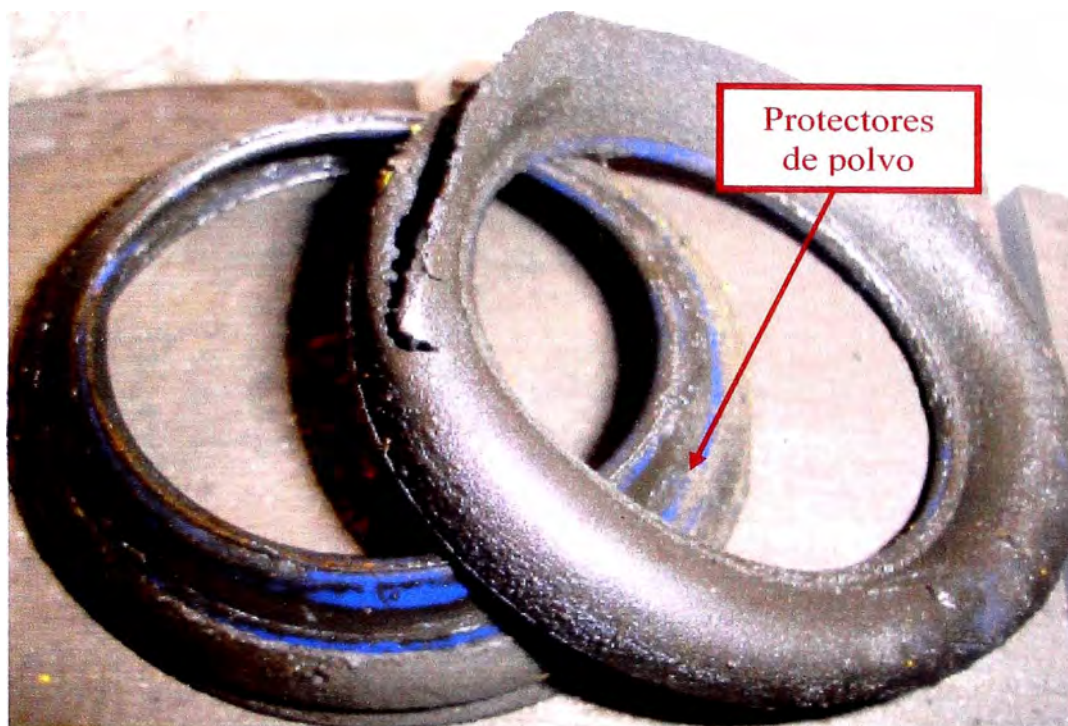


Fig. 4.14. Falla del protector de polvo.

4.5.2 Cambio de la bomba de levante

El filtro de levante tiene como función principal retener las partículas metálicas y no metálicas que se puedan encontrar en el tanque hidráulico, el flujo de aceite es absorbido del tanque por la bomba de levante luego pasa por el filtro para finalmente llegar hasta el puerto de entrada de la válvula de levante.

Evento encontrado: Durante el mantenimiento programado se procedió a cambiar el filtro de levante, como parte del mantenimiento predictivo se revisa el filtro, y se encontró partículas de metal en el filtro. Al observar el diagrama de flujo se puede determinar que al

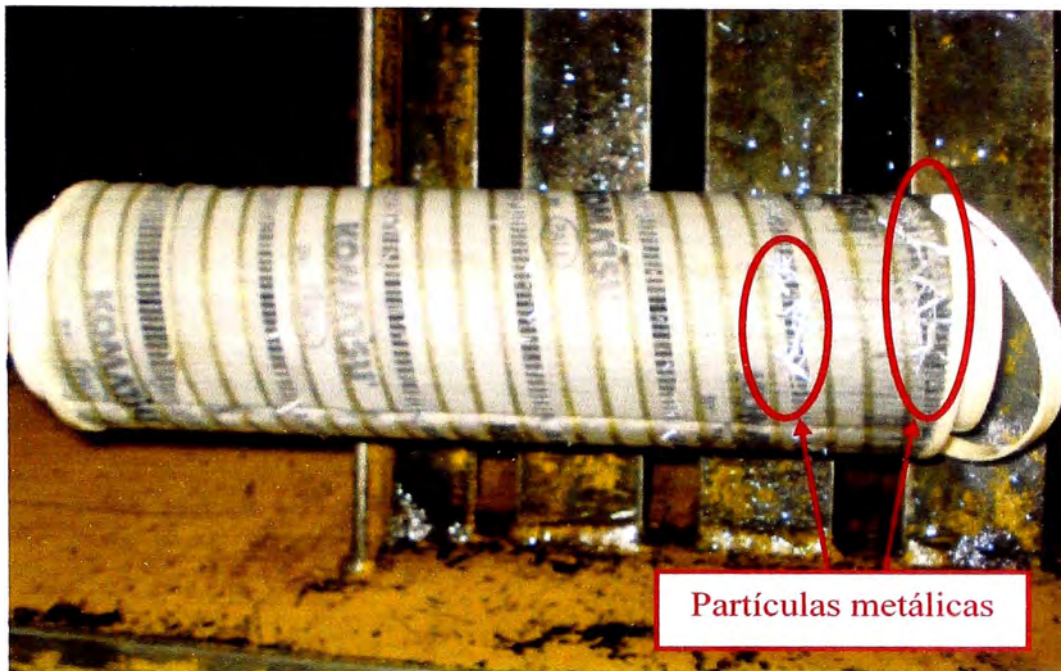


Fig. 4.15. Partículas captadas por el filtro, provenientes del desgaste de la bomba.

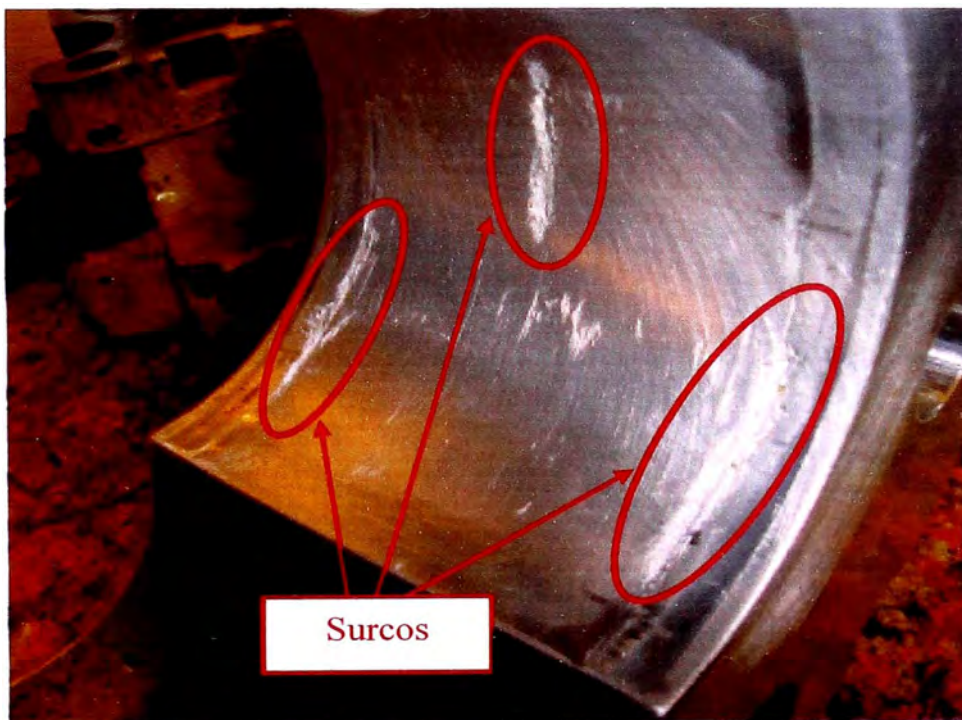


Fig. 4.16. Desgaste de la parte interna de la carcasa de la bomba.

estar el filtro después de la bomba, dichas partículas pueden provenir de la bomba, es decir la presencia de las partículas estaba indicando un desgaste interno en la bomba de levante.

Trabajo realizado: Se procedió a cambiar la bomba de levante por precaución, cuando se realizó el despiece de la bomba se pudo observar que la superficie interna de la carcasa estaba picada, tal como se puede observar en la figura 4.16, éstas picaduras pueden ser debido a partículas provenientes del tanque y/o debido a cavitación de la bomba. De continuar trabajando en tales condiciones pudo ocasionar que el filtro se sature hasta su límite máximo de 50 psi, luego el flujo de aceite iba by pasear el filtro y con ello enviar partículas de metal al resto del sistema hidráulico tales como válvulas y cilindros; todo esto iba traer como consecuencia la falla de éstos componentes.

4.5.3 Falla de la bomba de dirección

La bomba de la dirección tiene como función alimentar a los circuitos de la dirección y frenos.

Evento encontrado: El camión estaba presentando problemas con los cilindros de dirección, éstos no trabajaban a la velocidad normal, la presión de alivio de la dirección era 2,100 psi, en condiciones normales debe ser 2,500 psi, y la presión entregada por la bomba era 2,350 psi, el rango nominal es 2,950 psi, además la superficie externa

de la bomba tenía un valor de temperatura superior al que tenía la bomba de levante.

- **Trabajo realizado:** Debido a la baja presión, se cambió la bomba de dirección, cuando se realizó el despiece se encontró que la tapa interna estaba con signos de desgaste producidos por el calentamiento que generó la fricción entre la tapa interna y el núcleo de la bomba, esto se puede observar de la figura 4.17.

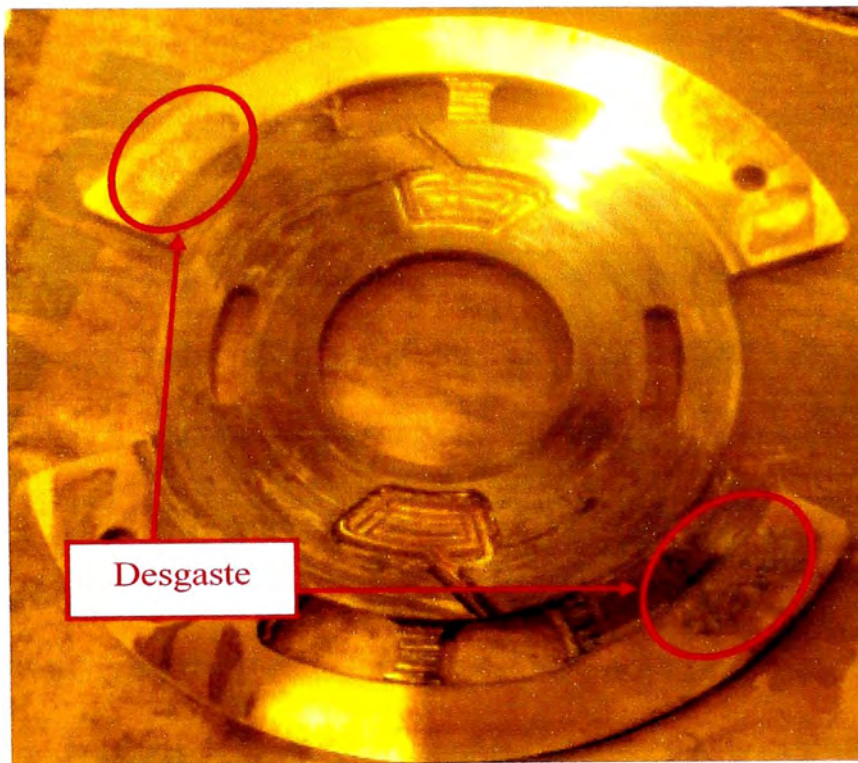


Fig. 4.17. Tapa interna de la bomba de dirección.

CAPITULO 5

RUEDAS DELANTERAS Y NEUMATICOS

En el presente capítulo mostraremos el monitoreo de la rueda delantera básicamente mediante el análisis de aceite.

Muestra también el estudio para determinar el TKPH (Toneladas Kilómetro por Hora) que es el parámetro más importante en la vida de un neumático. Actualmente en Minera Barrick – Lagunas Norte, los Camiones 730E utilizan dos tipos de neumáticos: Michelin 37.00R57 (neumático radial) y Belshina 40.00R57 (neumático diagonal o convencional), es de conocimiento que ha existido una crisis de neumáticos a nivel mundial y por ello es muy importante calcular siempre los valores de TKPH para evitar fallas prematuras.

5.1 Rueda delantera

La rueda delantera es el componente que está unido a la suspensión mediante el spindle, por un extremo de la rueda (lado interno del camión) va montado el disco de freno con sus tres caliper y por el otro extremo (lado externo del camión) está montado el aro del neumático.

La parte principal de la rueda delantera es el rodamiento cónico, éste rodamiento es el encargado de soportar la carga radial y axial que provienen del

neumático. En la figura 5.1 se muestra la rueda delantera ensamblada con la suspensión, también se aprecia el disco de freno y dos de los tres calipers.



Fig. 5.1. Rueda delantera.

5.1.1 Análisis de aceite de la Rueda delantera

En el camión 730E la rueda delantera utiliza el aceite Shell Spirax A80W90 cuyas características de rendimiento se indican a continuación:

- Este aceite es ideal para componentes que trabajan en condiciones de alta velocidad y cargas de impacto, alta velocidad y bajo torque, y baja velocidad y alto torque. Éstas cargas de impacto se generan cuando el camión se traslada por rutas que presentan grandes grietas.

- El aceite contiene aditivos especialmente seleccionados que brindan buenas características contra el desgaste, da estabilidad a la oxidación y brinda protección contra la herrumbre.
- Contiene sobresaliente estabilidad a la oxidación que neutraliza el deterioro del aceite y el perjudicial aumento de la viscosidad.
- El aceite no es despedido de las superficies de los dientes de los engranajes cuando trabajan a altas velocidades.
- El aceite Shell Spirax A 80W90 no representa ningún riesgo significativo para la salud o la seguridad cuando se usan apropiadamente en la aplicación recomendada.

En la tabla 5.1 se indica las características físicas del aceite.

Tabla N° 5.1. Características físicas del aceite Shell Spirax A 80W90.	
Grado SAE	80W90
Viscosidad @ 100°C , cSt	15.6
Punto de inflamación , °C	204
Punto de fluidez , °C	-32

Tabla N° 5.2. Límites condenatorios del aceite Shell Spirax A 80W90.		
Parámetro	Límite inferior	Límite superior
Viscosidad a 100°C (cSt)	14.5	16.5
Agua % Volumen	0.1	0.5
Hierro (ppm)	20	40
Cromo (ppm)	6	10
Plomo (ppm)	4	8
Cobre (ppm)	10	15
Estaño (ppm)	4	8
Aluminio (ppm)	6	12
Silicio (ppm)	15	25

En el laboratorio de análisis de aceite de Minera Barrick se analiza la muestra de aceite tomada de la rueda delantera, los límites condinatorios de los principales elementos de desgaste se muestran en la tabla 5.2.

5.1.2 Ajuste del rodamiento de la rueda delantera

Habíamos indicado anteriormente que cuando existen valores altos de algún metal en la muestra de aceite dichos metales provienen del desgaste del rodamiento de la rueda delantera y por ello es necesario realizar el ajuste de dicho rodamiento.

A continuación se describe el procedimiento de ajuste cuando el aro y el neumático están instalados en el camión (este caso ocurre casi siempre), éste procedimiento es comúnmente llamado “precarga del rodamiento”. Es necesario observar la figura 5.2 donde se aprecian las partes internas de la rueda.

1. Parquear el camión en un área de terreno nivelado, aplicar el freno de parqueo y colocar cuñas a los neumáticos para evitar movimientos del camión.
2. Levantar el neumático utilizando el manipular de neumáticos, luego colocar soportes debajo del frame para sostener el camión hasta finalizar la precarga.
3. Drenar el aceite de la rueda por el tapón de drenaje (1) de la figura 5.2 y remover la tapa 1.

4. Remover los pernos (9), el plato retenedor (7) y los shims (10).
5. Reinstalar el plato retenedor (7) con el espesor de la dimensión de la estampa con la vista hacia fuera, colocar los pernos y arandelas. No instalar los shims.

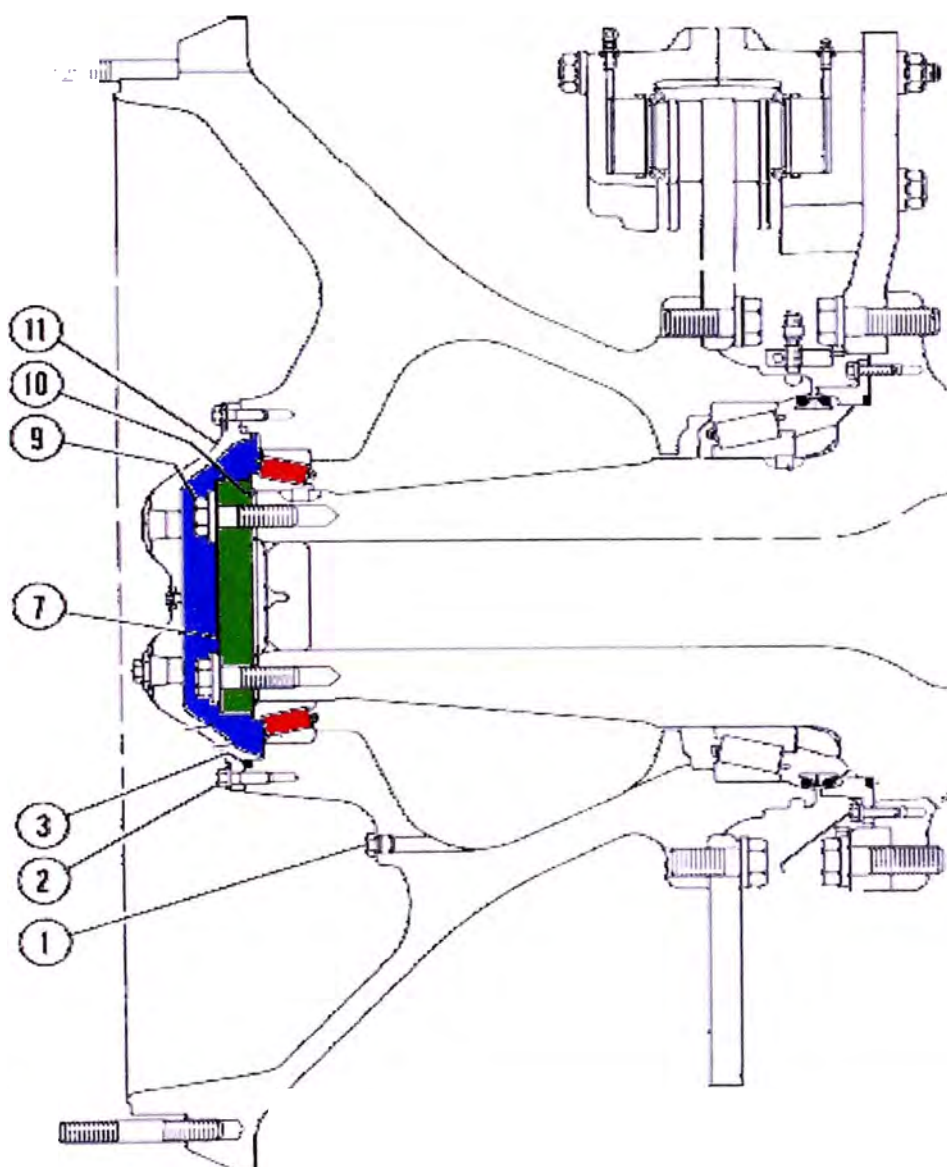


Fig. 5.2. Componentes internos de la rueda delantera.

6. Ajustar alternadamente los pernos (9) del plato retenedor (7) inicialmente a un torque de 100 ft. lb. y girar la rueda como mínimo tres revoluciones, incrementar el torque a 250 ft. lb. y nuevamente girar la rueda como mínimo tres revoluciones.
7. Aflojar los seis pernos hasta que las arandelas estén fáciles de girar, luego girar la rueda como mínimo tres revoluciones.
8. Retorquear dos pernos que estén apartados 180° a un torque de 60 ft. lb. y girar la rueda como mínimo tres revoluciones, incrementar el torque a 110 ft. lb. y nuevamente girar la rueda como mínimo tres revoluciones.
9. Usando un micrómetro, medir la profundidad del final del spindle de la cara del plato retenedor (7) a través de cada uno de los dos agujeros (3) del plato retenedor que sean adyacentes a los dos pernos que fueron ajustados en el paso 8.
10. Calcular el promedio de las dos medidas realizadas en el paso 9.
11. Sustraer la dimensión estampada de la cara del plato retenedor de la profundidad promedio calculada en el paso 10 para determinar la cantidad de shims requerido. Este nuevo espesor de shims que es necesario colocar asegura una precarga de 0.007 in. que es el estándar según el fabricante.
12. Remover los pernos (9) y el plato retenedor (7). Instalar los shims requeridos de acuerdo al paso 11 y reinstalar el retenedor, los pernos y las arandelas.

13. Ajustar los pernos a un torque de 750 ft. lb., instalar el cover (11).
Instalar los pernos y arandelas (2) y ajustar a un torque estándar.
14. Finalmente llenar la rueda con aceite.

5.2 Neumáticos

El neumático es el componente que permite el desplazamiento del camión, como primer paso a continuación se va describir las diferencias entre las estructuras de un neumático diagonal o convencional y un neumático radial con el objetivo de conocer su forma de fabricación y con ello sus ventajas y desventajas.

5.2.1 Neumático Diagonal o Convencional, Belshina 40.00R57

En un neumático diagonal o convencional la banda de rodamiento es solidaria de los flancos. Así, cuando rueda un neumático, todas las flexiones son transmitidas a la banda de rodamiento, originando: una deformación de la superficie de contacto con el suelo y fricciones con éste. Las lonas de la carcasa tienen tendencia a desplazarse las unas de las otras.

Ventajas:

- Fácil de fabricación.
- Bajo costo.

Desventajas:

- Desgaste más rápido.
- Menor adherencia.
- Consumo de combustible más elevado.

La carcasa
está compuesta
de varias lonas cruzadas
entre sí.

La cima
no está estabilizada

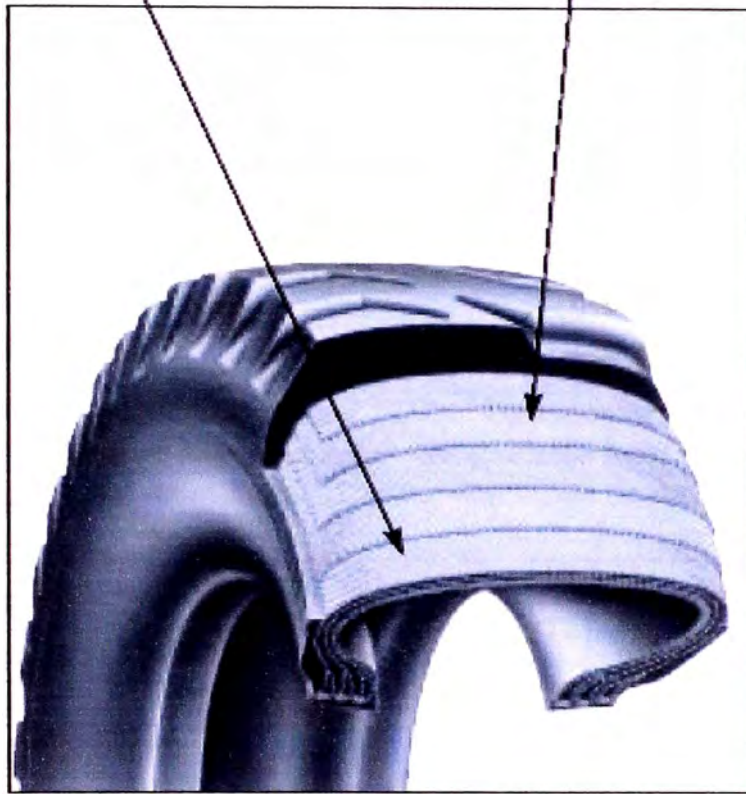


Fig. 5.3. Neumático Diagonal o Convencional.

5.2.2 Neumático Radial, Michelin 37.00R57

En este neumático, cada parte, flancos y banda de rodadura, trabaja independientemente, las flexiones del flanco no se transmiten a la banda y con ello: se reducen las deformaciones de la superficie de contacto con el suelo y las fricciones con éste. No existe desplazamiento entre lonas de la carcasa.

Ventajas:

- Aumento del rendimiento (horas, km).
- Mayor adherencia, facilidad de evolución sobre todo tipo de terreno.

- Disminución del consumo de combustible debido a la menor resistencia al rodaje.
- Resistencia a las perforaciones.
- Mayor confort para el operador del equipo.

Desventajas:

- Mayor costo de fabricación.

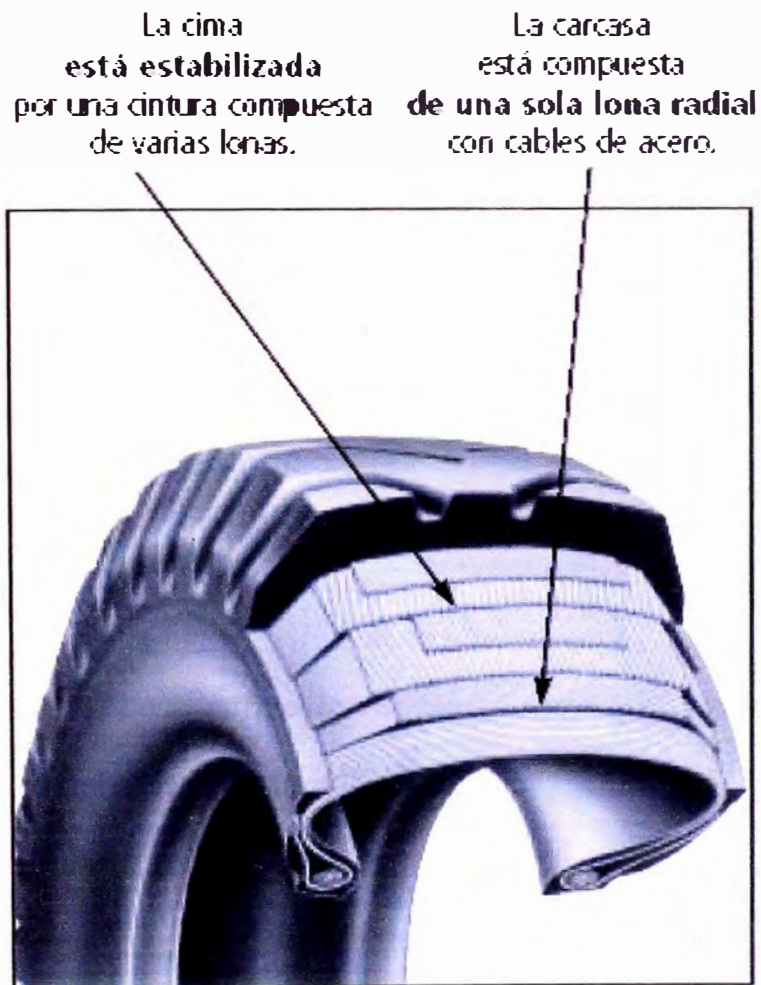


Fig. 5.4. Neumático Radial.

5.2.3 El TKPH

El TKPH (Toneladas Kilómetro por Hora) es una característica de la capacidad de trabajo de un neumático. Esta característica tiene en cuenta un factor muy importante en la vida de un neumático que es la temperatura máxima admisible de funcionamiento. Dentro del mantenimiento predictivo está incluido el cálculo del TKPH para cada camión y para cada tipo de neumático.

Es importante calcular el TKPH por las siguientes razones:

Para poder mantener el neumático en su zona de seguridad durante su trabajo.

Para obtener la mayor productividad (la velocidad mas elevada con la carga máxima).

Para escoger el neumático idóneo para la mina y así reducir el costo de toneladas/kilómetro.

5.2.3.1 TKPH base

El TKPH base define la necesidad específica de la explotación del neumático y se obtiene por la relación:

$$\text{TKPH base} = Q_m \times V_m$$

Q_m : Carga media por neumático.

V_m : Velocidad media de un ciclo en kilómetros por hora.

Carga media por neumático (Q_m)

$$Q_m = \frac{Q_c + Q_v}{2}$$

Q_c : peso por neumático, vehículo en carga.

Q_v : peso por neumático, vehículo en vacío.

El cálculo del Q_m deberá efectuarse para cada neumático, debido a que hay camiones que tienen diferentes tipos de neumáticos. En la práctica se supondrá que cada neumático de un mismo eje lleva la misma carga. En consecuencia el cálculo será efectuado tanto para el eje delantero como para el eje posterior.

En condiciones normales, para los camiones de dos ejes el reparto del peso total en carga (peso en vacío + carga útil) es del 33.3 % para el eje delantero en sencillo (dos neumáticos) y del 66.7 % para el eje posterior en gemelo (cuatro neumáticos). En vacío el eje delantero es el más pesado, de esto se puede deducir que el Q_m afectará casi siempre a la posición delantera, esto se puede observar en la figura 5.5.

Para el cálculo de la distribución de peso se considera el peso del camión en vacío = 132.2 ton. métricas (tara del camión en vacío) y una carga útil de 188.0 ton. métricas.

- Velocidad media del ciclo (V_m)

$$V_m = \frac{L}{H}$$

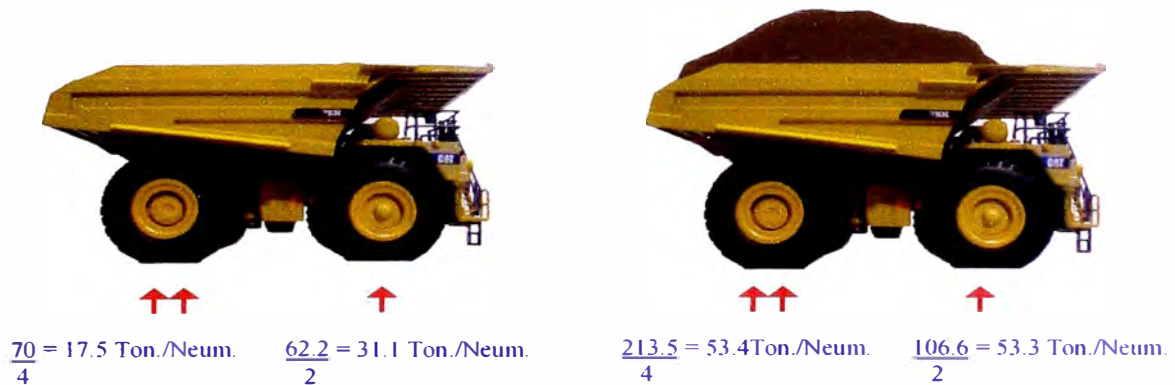
L: longitud del ciclo en kilómetros.

H: duración del ciclo en horas.

Tener en cuenta que el cálculo del TKPH siempre es recomendable utilizarlo para longitudes de ciclos mayores a 5 Km., debido a que a longitudes menores los valores de TKPH son relativamente bajos.

DISTRIBUCIÓN DE PESO

	VACIO	CARGADO
EJE DEL.	47.0%	33.3%
EJE POS.	53.0%	66.7%



CARGA PROMEDIO

EJE DEL.	=	42.2 Ton./Neum.
EJE POS.	=	35.5 Ton./Neum.

Fig. 5.5. Distribución de peso

5.2.3.2 TKPH real

Para el cálculo del TKPH real se tienen en cuenta otros dos factores:

- La longitud del ciclo, superiores a 5 km.
- La temperatura ambiente.

$$\text{TKPH real} = \text{TKPH base} \times K1 \times K2 = Qm \times Vm \times K1 \times K2$$

- Longitud del ciclo (L)

Para los ciclos mayor a 5 km aplicar al TKPH base el factor K1 tal como se muestra en el anexo K.

- Temperatura ambiente (TA)

Para una misma velocidad media, una temperatura ambiente superior a 38 °C aumenta el valor del TKPH real, inversamente una temperatura ambiente inferior a 38 °C disminuye el valor del TKPH real.

$$K2 = \frac{Vm + [0,25 \times (TA - 38)]}{Vm}$$

Vm: velocidad media del ciclo.

TA: temperatura ambiente.

En resumen, para el cálculo del TKPH real, seguir de la forma siguiente:

- Calcular el TKPH base.

- Corrección para la longitud de ciclo > 5 Km. con ayuda del coeficiente “K1”.
- Corrección para la temperatura ambiente diferente de 38°C con ayuda del coeficiente “K2”.

5.2.3.3 Comparación entre el TKPH máximo y el TKPH real

Considerando que el **TKPH máximo** es el máximo valor permisible recomendado por el fabricante, se pueden dar dos casos:

- TKPH real $<$ TKPH máximo, el neumático conviene.
- TKPH real \geq TKPH máximo, el neumático no conviene y es recomendable utilizar otro tipo de neumático.

Lo indicado anteriormente es por recomendación del fabricante, pero en caso de que hayan ciclos en el que TKPH real \geq TKPH máximo es necesario indicar al personal de operaciones que el camión debe trabajar a una menor velocidad promedio, lo que implica incrementar el tiempo del ciclo, y/o disminuir la carga transportada en caso que existan sobrecargas.

5.2.4 TKPH real en Minera Barrick – Lagunas Norte

Antes de mostrar el TKPH real es necesario recordar que en Minera Barrick – Lagunas Norte los camiones Komatsu 730E utilizan los siguientes tipos de neumáticos que se listan en la Tabla 5.3, donde también se puede observar el máximo TKPH permitido.

Tabla 5.3. Neumáticos utilizados en camión Komatsu 730E.

Marca	Estructura	Dimensión	Máximo TKPH
Michelín	Radial	37.00R57 XDR B4	848
Belshina	Diagonal o Convencional	40.00-57 FT 117	657
Renova	Goma Reencauchada	37.00R57 RTDL	848

Así mismo los once camiones utilizan en forma combinada estos neumáticos según se indica en la tabla 5.4.

Tabla 5.4. Camiones 730E con sus respectivos tipos de neumáticos.

Camión \ posición	Pos. 1	Pos. 2	Pos. 3	Pos. 4	Pos. 5	Pos. 6
730E N°01	R	R	C	C	C	C
730E N°02	R	R	C	C	C	C
730E N°03	R	R	R	R	R	R
730E N°04	R	R	C	C	C	C
730E N°05	R	R	R	R	R	R
730E N°06	R	R	R	R	R	R
730E N°07	R	R	R	R	R	R
730E N°08	R	R	R	R	R	R
730E N°09	R	R	C	C	C	C
730E N°10	R	R	R	R	R	R
730E N°11	R	R	R	R	R	R

Donde: “R” es Michelín o de estructura radial y “C” es Belshina o de estructura Convencional.

A continuación se mostrará los valores calculados de TKPH real para el camión 730E N°02 correspondiente al mes de Julio del 2009, y tal como se mostró en la tabla 5.4 dicho camión lleva diferentes tipos de neumáticos en su eje delantero (Pos. 1 y 2) y en su eje posterior (Pos. 3, 4, 5 y 6), por ese motivo ha sido necesario calcular el Q_m (carga media) tanto para el eje delantero como para el eje posterior.

Tabla 5.5. Cálculo del TKPH.

Fecha	Carga Neta ton. Métricas	Tiempo del ololo	Distancia del ololo km	Camión Vaólo		Camión Cargado		Carga Media Gm		Veloo. Media Vm	Constantes		TKPH real	
				47.0%	53.0%	33.3%	66.7%	Llanta Delantera	Llanta Posterior		K1	K2	Llanta Delantera	Llanta Posterior
				Llanta Delantera	Llanta Posterior	Llanta Delantera	Llanta Posterior							
01-Jul-09	182.2	26.95	7.3	31.1	17.5	52.4	52.4	41.7	35.0	16.3	1.069	0.723	524.2	439.5
01-Jul-09	183.6	32.42	7.3	31.1	17.5	52.6	52.7	41.8	35.1	13.5	1.069	0.667	403.1	338.2
01-Jul-09	181.6	30.77	7.3	31.1	17.5	52.3	52.3	41.7	34.9	14.2	1.069	0.684	433.8	363.6
01-Jul-09	204.0	29.75	5.5	31.1	17.5	56.0	56.1	43.5	36.8	11.1	1.020	0.594	292.8	247.5
01-Jul-09	188.2	34.85	5.5	31.1	17.5	53.4	53.4	42.2	35.5	9.5	1.020	0.525	214.0	179.9
02-Jul-09	189.4	31.83	5.2	31.1	17.5	53.6	53.6	42.3	35.6	9.8	1.008	0.541	226.2	190.2
02-Jul-09	192.5	29.87	6.0	31.1	17.5	54.1	54.2	42.6	35.8	12.1	1.040	0.627	334.5	281.6
02-Jul-09	194.3	25.08	6.0	31.1	17.5	54.4	54.5	42.7	36.0	14.4	1.040	0.686	437.9	368.8
02-Jul-09	192.1	26.25	6.0	31.1	17.5	54.0	54.1	42.6	35.8	13.7	1.040	0.672	407.8	343.2
02-Jul-09	174.5	35.58	6.4	31.1	17.5	51.1	51.2	41.1	34.3	10.8	1.048	0.583	270.9	226.5
03-Jul-09	200.5	32.60	6.5	31.1	17.5	55.4	55.5	43.3	36.5	12.0	1.050	0.624	338.9	286.1
03-Jul-09	167.2	22.48	5.6	31.1	17.5	49.9	49.9	40.5	33.7	14.9	1.024	0.699	432.9	360.8
03-Jul-09	185.7	39.40	6.3	31.1	17.5	52.9	53.0	42.0	35.3	9.6	1.046	0.531	223.9	188.0
03-Jul-09	174.4	42.85	6.8	31.1	17.5	51.1	51.1	41.1	34.3	9.5	1.056	0.527	217.8	182.1
04-Jul-09	190.6	24.07	5.3	31.1	17.5	53.8	53.8	42.4	35.7	13.2	1.012	0.659	374.1	314.7
04-Jul-09	172.0	27.48	5.6	31.1	17.5	50.7	50.7	40.9	34.1	12.2	1.024	0.632	323.4	270.0
05-Jul-09	176.3	29.68	5.3	31.1	17.5	51.4	51.5	41.2	34.5	10.7	1.012	0.580	259.3	216.9
05-Jul-09	201.6	36.12	6.6	31.1	17.5	55.6	55.7	43.3	36.6	11.0	1.052	0.590	294.8	248.9
05-Jul-09	177.6	47.87	5.4	31.1	17.5	51.6	51.7	41.3	34.6	6.8	1.016	0.335	95.3	79.8
06-Jul-09	190.0	32.10	5.7	31.1	17.5	53.7	53.7	42.4	35.6	10.7	1.028	0.578	268.1	225.5
07-Jul-09	190.5	19.98	5.6	31.1	17.5	53.7	53.8	42.4	35.7	16.8	1.024	0.732	534.9	449.9
08-Jul-09	194.9	30.27	5.1	31.1	17.5	54.5	54.6	42.8	36.0	10.1	1.004	0.555	241.0	203.0
08-Jul-09	181.1	58.77	7.3	31.1	17.5	52.2	52.3	41.6	34.9	7.5	1.069	0.396	131.4	110.2
08-Jul-09	193.8	22.10	5.6	31.1	17.5	54.3	54.4	42.7	36.0	15.2	1.024	0.704	467.9	394.1
09-Jul-09	177.3	20.32	5.2	31.1	17.5	51.5	51.6	41.3	34.6	15.4	1.008	0.707	452.2	378.4
10-Jul-09	180.8	24.22	5.1	31.1	17.5	52.1	52.2	41.6	34.9	12.6	1.004	0.644	339.9	284.8

Tabla 5.5. Cálculo del TKPH.

Fecha	Carga Neta ton. Métricas	Tiempo del ololo	Distancia del ololo km	Camión Vaólo		Camión Cargado		Carga Media Gm		Veloc. Media Vm	Constantes		TKPH real	
				47.0%	53.0%	33.3%	66.7%	Llanta Delantera	Llanta Posterior		K1	K2	Llanta Delantera	Llanta Posterior
				Llanta Delantera	Llanta Posterior	Llanta Delantera	Llanta Posterior							
23-Jul-09	187.6	26.03	6.0	31.1	17.5	53.3	53.3	42.2	35.4	13.8	1.040	0.675	409.2	343.8
23-Jul-09	180.2	28.87	8.1	31.1	17.5	52.0	52.1	41.6	34.8	16.8	1.091	0.733	559.4	488.6
23-Jul-09	183.8	33.35	5.9	31.1	17.5	52.6	52.7	41.9	35.1	10.6	1.036	0.576	265.2	222.5
23-Jul-09	184.6	37.23	5.3	31.1	17.5	52.8	52.8	41.9	35.2	8.5	1.012	0.473	171.4	143.9
24-Jul-09	198.7	28.23	5.5	31.1	17.5	55.1	55.2	43.1	36.4	11.7	1.020	0.615	316.0	266.6
24-Jul-09	192.7	67.85	8.5	31.1	17.5	54.1	54.2	42.6	35.9	7.5	1.095	0.403	141.8	119.3
24-Jul-09	191.9	60.58	7.2	31.1	17.5	54.0	54.1	42.5	35.8	7.1	1.066	0.369	119.3	100.4
25-Jul-09	167.7	49.62	5.5	31.1	17.5	50.0	50.0	40.5	33.8	6.7	1.020	0.323	88.9	74.1
26-Jul-09	177.2	21.65	5.1	31.1	17.5	51.5	51.6	41.3	34.6	14.1	1.004	0.682	399.6	334.4
26-Jul-09	176.5	28.55	5.5	31.1	17.5	51.4	51.5	41.3	34.5	11.6	1.020	0.611	297.0	248.5
26-Jul-09	186.9	28.83	5.5	31.1	17.5	53.1	53.2	42.1	35.4	11.4	1.020	0.607	298.4	250.6
26-Jul-09	189.2	40.45	5.5	31.1	17.5	53.5	53.6	42.3	35.6	8.2	1.020	0.448	157.9	132.7
26-Jul-09	196.7	25.72	5.4	31.1	17.5	54.8	54.9	42.9	36.2	12.6	1.016	0.643	353.3	297.8
26-Jul-09	199.5	28.77	5.3	31.1	17.5	55.2	55.3	43.2	36.4	11.1	1.012	0.593	286.3	241.6
26-Jul-09	185.4	23.32	5.3	31.1	17.5	52.9	53.0	42.0	35.3	13.6	1.012	0.670	388.4	326.0
27-Jul-09	192.4	24.83	6.0	31.1	17.5	54.1	54.1	42.6	35.8	14.5	1.040	0.690	442.6	372.6
27-Jul-09	194.1	51.38	10.1	31.1	17.5	54.3	54.4	42.7	36.0	11.8	1.121	0.618	349.3	294.2
28-Jul-09	199.3	32.62	7.3	31.1	17.5	55.2	55.3	43.2	36.4	13.4	1.069	0.665	411.9	347.5
29-Jul-09	181.8	22.73	6.5	31.1	17.5	52.3	52.4	41.7	35.0	17.2	1.050	0.738	554.0	464.5
30-Jul-09	204.7	28.10	5.7	31.1	17.5	56.1	56.2	43.6	36.9	12.2	1.028	0.630	343.8	290.7
30-Jul-09	197.2	27.90	5.1	31.1	17.5	54.9	54.9	43.0	36.2	11.0	1.004	0.590	279.1	235.3
30-Jul-09	183.2	27.97	6.6	31.1	17.5	52.5	52.6	41.8	35.1	14.2	1.052	0.682	424.9	356.4
30-Jul-09	196.9	34.87	6.3	31.1	17.5	54.8	54.9	43.0	36.2	10.8	1.046	0.585	284.9	240.2
30-Jul-09	197.9	40.65	8.1	31.1	17.5	55.0	55.1	43.0	36.3	12.0	1.091	0.624	350.0	295.2
31-Jul-09	182.5	34.18	5.7	31.1	17.5	52.4	52.5	41.8	35.0	10.0	1.028	0.550	236.3	198.1
31-Jul-09	185.9	30.78	5.6	31.1	17.5	53.0	53.1	42.0	35.3	10.9	1.024	0.588	276.1	231.9

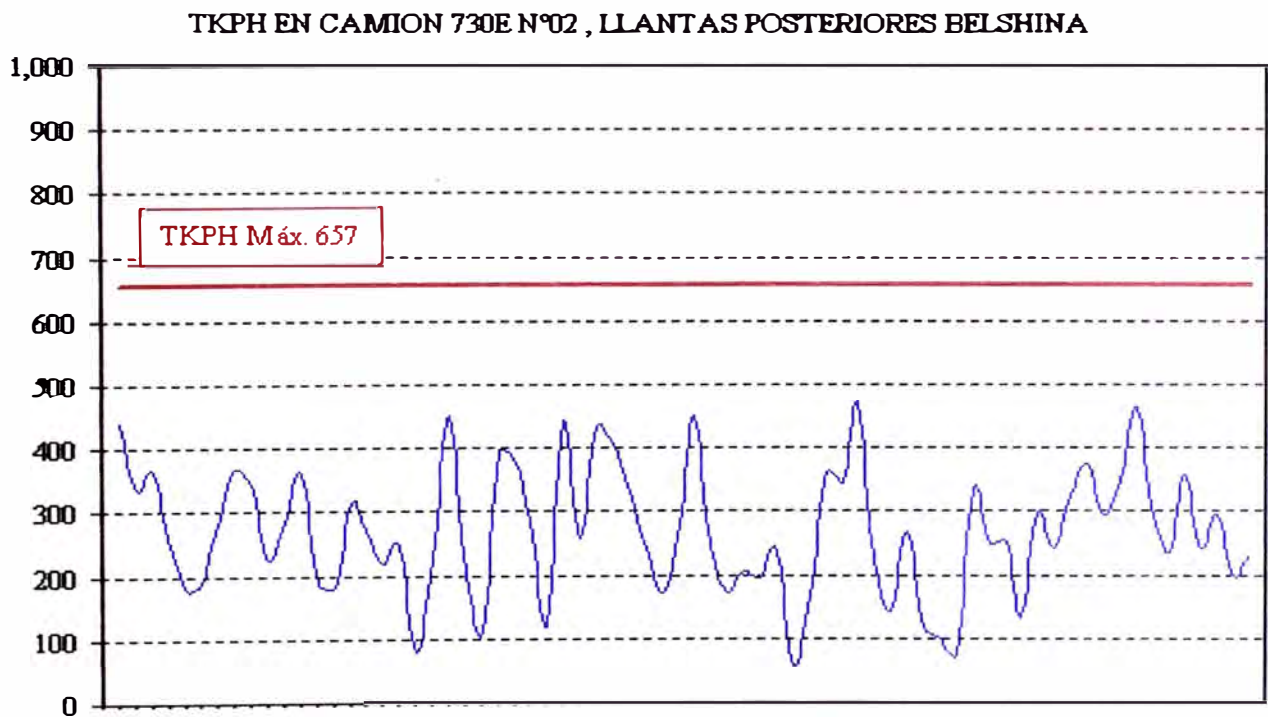
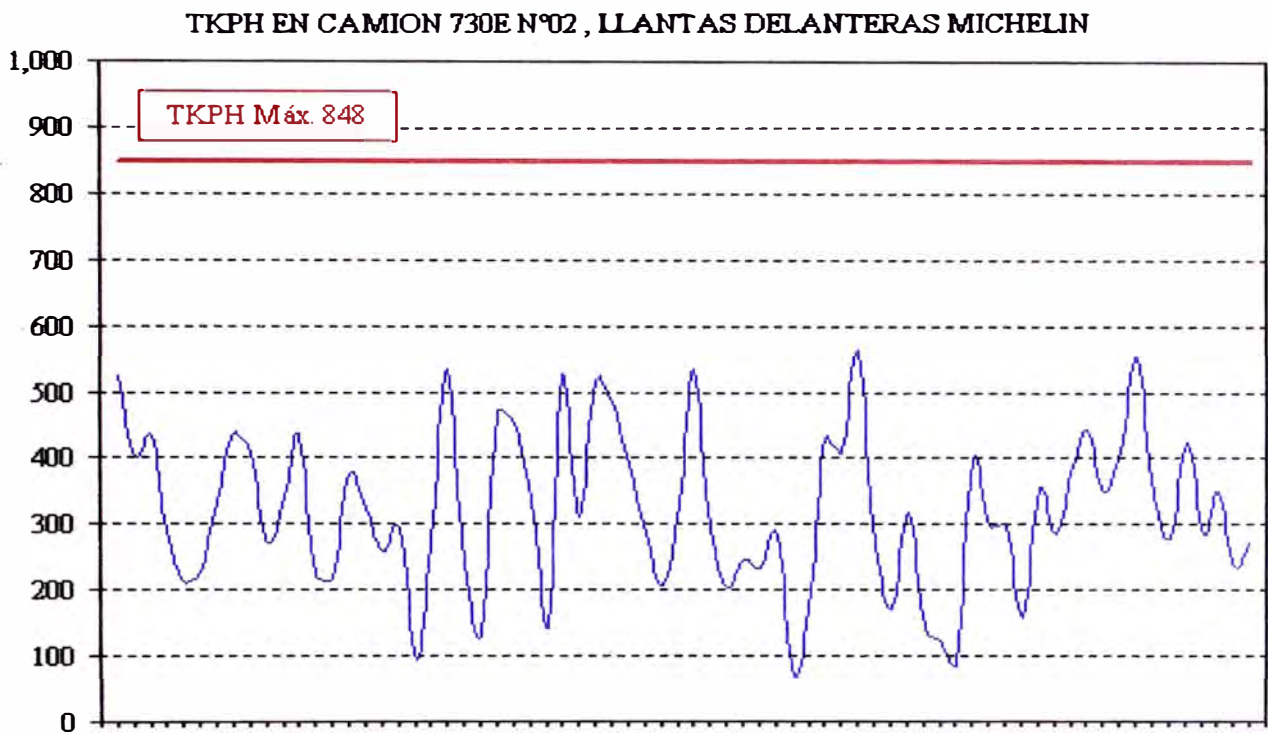


Fig. 5.6. TKPH en llantas Michelin y Belshina.

Los valores para el cálculo del TKPH se muestran en la tabla 5.5, los valores dados por el PLM III son: carga neta, tiempo y distancia del ciclo, estos valores son dados para todos los ciclos de carga, pero solo se están considerando los ciclos de carga cuyo recorrido total sean mayores a 5 Km.

De los valores mostrados en la tabla 5.5 se puede deducir que en Minera Barrick son pocos los ciclos de carguío con distancias mayores a 5 Km. esto es debido a que la operación es aún joven en comparación con otras operaciones mineras; con el correr de los años la mina crecerá y por consecuencia los ciclos serán de mayor distancia.

En la figura 5.6 se muestra gráficamente los valores del TKPH para las llantas delanteras y posteriores, como se puede observar los valores de TKPH en ningún caso llegaron hasta los máximos permisibles de cada fabricante, lo cual indica que los neumáticos están siendo utilizados de una forma correcta.

5.2.5 Consecuencia de exceso de TKPH en los neumáticos

Con el cálculo del TKPH mostrado anteriormente se pudo determinar si el neumático está trabajando dentro de las condiciones especificadas por el fabricante, en caso contrario se producen sobrecalentamientos en la estructura interna, lo que conlleva al desgaste prematuro del neumático, una clara evidencia de sobrecalentamiento dentro del neumático es la presencia de burbujas en el butilo o goma interior.

5.3 Eventos que fueron encontrados mediante el mantenimiento predictivo

En las ruedas delanteras el problema principal que se produce es el desgaste del rodamiento, dicho desgaste puede ocurrir por horas de servicio o debido al desgaste abrasivo que se origina cuando hay contaminación externa con silicio, cuando ocurre ello se procede a realizar la precarga; si aun así el desgaste continúa elevándose es recomendable cambiar el componente.

5.3.1 Alto desgaste en rueda delantera derecha

En la rueda del camión 730E N°10, el aceite estaba presentando alto contenido de hierro, y tal como se había mencionado dicho valor de hierro provenía del desgaste del rodamiento cónico de la rueda. En la figura 5.7 se observa los valores de metales en la muestra, se puede apreciar que hay valores de hierro que llegaron hasta los 108 ppm, pero también es necesario saber que el silicio en la muestra es como consecuencia de la contaminación externa (tierra) y ésta al ser altamente abrasiva acelera el desgaste en cualquier sistema tal como sucedió en ésta rueda, el silicio en éste aceite llegó hasta el límite máximo de 25 ppm. Cuando se encontró éste valor de silicio en la muestra la primera medida fue realizar el flushing al sistema para limpiarlo de la tierra pero al parecer el desgaste era tal que el hierro continuaba elevándose con el latente peligro de que falle la rueda.

Al observar que los valores eran muy superiores al límite máximo permisible de 40 ppm se tomó la decisión de realizar el ajuste del rodamiento.

8C5110 730E#10		Martes , 01 de Diciembre d			
Rueda Delantera Derecha		ULTIMAS		CAPACIDAD: 4	
Campo	20029	19743	19642	19478	
Fecha de muestreo	18-Jul-2008	02-Jul-2008	26-Jun-2008	18-Jun-2008	
Horas A	0	0	0	0	
Horas B	15174	14831	14718	14545	
Horas C	15174	14831	14718	14545	
Horas del aceite	343	286	173	282	
Rellenos					
Producto Usado	Spirax A80W90	Spirax A80W90	Spirax A80W90	Spirax A80W90	
Accion a tomar	C	C	M	C	
Tipo PH	PM4	PM1	INP	PM2	
Posicion	8	7	0	6	
Viscosidad a 100 °C	14.48	14.58	14.52	14.83	
Hierro (ppm)	40	108	60	87	
Cromo (ppm)	0	1	0	0	
Plomo (ppm)	1	1	1	0	
Cobre (ppm)	0	0	0	0	
Estaño (ppm)	1	0	0	0	
Aluminio (ppm)	0	0	0	0	
Niquel (ppm)	1	1	0	0	
Plata (ppm)	0	0	0	0	
Silicio (ppm)	2	8	3	25	
Boro (ppm)	1	1	1	1	

Fig. 5.7. Análisis de aceite.

Al realizar el ajuste del rodamiento se obtuvieron los resultados que se muestran en la tabla 5.6. De los valores mostrados se puede concluir que debido al desgaste se tuvo que retirar 0.025" de espesor de shims con lo cual el rodamiento iba trabajar con el ajuste correcto y evitar así que se produzca la falla.

Tabla N° 5.6. Valores obtenidos con el ajuste del rodamiento.	
1. Espesor del plato	1.376"
2. Shims encontrados	0.126 "
3. Promedio de medición realizada	1.477 "
4. Nueva cantidad de shims requeridos (3 - 1)	0.101 "
5. Shims quitados (2 - 4)	0.025 "

CONCLUSIONES

1. Con el monitoreo de análisis de aceite y con la determinación de los límites condinatorios en ppm de los metales de desgaste (Fe, Cr, Pb, Cu, etc.) y viscosidad, se ha logrado incrementar el periodo de tiempo entre los cambios de aceites y filtros, con respecto al estándar dado por el fabricante, esto implica un ahorro del tiempo y costo de los mantenimientos programados.
2. Utilizando el software STATEX III, para monitoreo del Alternador Principal y Motores de Tracción, mediante los test de diagnóstico se ha logrado detectar y eliminar fallas que inhiben la propulsión, con ello se reduce el tiempo de parada.
3. Con los archivos de perfiles del STATEX III, se ha creado el reporte de fallas operacionales, éstas fallas de operación aceleran el desgaste de algunos componentes del camión, dicho reporte se envía a los operadores con el objetivo de moderar su manejo, por ejemplo las sobre velocidades.
4. Mediante el reporte del software de cargas PLM III, se logra maximizar la productividad, advirtiendo a los operadores de la existencia de sub-cargas y sobre todo alertándolos de sobrecargas, evitando esto último se consigue incrementar la vida de algunos componentes tales como: tolva, cilindros de suspensión, chasis, neumáticos, etc.

5. Con el uso del PLM III, facilita la correcta selección del tipo de neumático de acuerdo con el cálculo del TKPH para cualquier tipo de camión.
6. Con la realización de los PM Clinic de Frenos y Levante/Dirección, se le otorga al operador el trabajar de una manera segura, con dichas pruebas se logra identificar alguna falla potencial que pueda poner en riesgo la seguridad del operador.
7. En general, con el mantenimiento predictivo, se logra identificar fallas de origen de fábrica y/o fallas en las reparaciones, con ello se tiene un sustento sólido para los reclamos de garantía al proveedor.
8. Cuando un camión es nuevo, generalmente su disponibilidad puede llegar hasta 95% debido a que los componentes no fallan, las paradas son entonces por trabajos programados. Con el pasar de los años, los componentes tienden a fallar de una manera casi imprevista, como consecuencia la disponibilidad disminuye. Con el mantenimiento predictivo se ha logrado mantener una disponibilidad mensual por flota por encima del 90%, tal como se puede apreciar en la gráfica comparativa del anexo L.
9. El costo de realizar mantenimiento predictivo incluye: herramientas de monitoreo y capacitación al personal, este costo es mínimo en comparación al costo por fallas catastróficas que se puedan presentar por no realizar mantenimiento predictivo.
10. La metodología y actividades del mantenimiento predictivo empleadas sirven de base para realizar similar monitoreo a otros equipos de minería que cuenten con tecnología de similares características. Las actividades y su frecuencia se describen en el anexo M.

BIBLIOGRAFIA

SHOP MANUAL 730E	Komatsu
OPERACIÓN Y MANTENCIÓN 730E	Komatsu
SERVICE MANUAL K50	Cummins
CURSO DE MOTOR K2000E	Cummins
FAMILIARIZACION EN CENSE	Cummins
MANUAL DEL SISTEMA STATEX III	General Electric
CURSO DE RUEDAS MOTORIZADAS	Sager
CURSO PLM III	Komatsu
MANUAL DE LUBRICANTES	Shell
MANUAL DE NEUMATICOS MICHELIN	Michelin

ANEXOS

Anexo A

PM Clinic Motor 730E



VALORES A TOMAR CON EL DATA LOGGER DEL CENSE

Nº	Selected parameters (46)	Valor estándar	Valor medido	Descripción
1	Engine Condition	123		Condición del Motor
2	Brake Horsepower	1,700-1,900 HP		Potencia del Motor
3	Current Engine Torque	4,500-5,500 ft-lb		Torque del Motor
4	Engine Speed	1,800-2,100 RPM		Velocidad del Motor
5	% Accelerator Pedal	95-100 %		% de Pisada del acelerador
6	Injector Metering Rail Press	965-1,170 kPa (140-170 psi)		Presión en el riel de combustible
7	Ambient Pressure	62 kPa (9 psi)		Presión del ambiente
8	Intake Manifold Pressure LB	227-262 kPa (33-38 psi)		Presión de aire a la salida del turbo de alta izquierdo
9	Intake Manifold Pressure RB	227-262 kPa (33-38 psi)		Presión de aire a la salida del turbo de alta derecho
10	Compressor Inlet Temp RB	Temp. Ambiente		Temperatura de entrada en el lado del compresor del turbo
11	Intake Manifold Temp LBF	88 °C (190 °F) máx.		Temperatura de aire en el aftercooler delantero izquierdo
12	Intake Manifold Temp LBR	88 °C (190 °F) máx.		Temperatura de aire en el aftercooler posterior izquierdo
13	Intake Manifold Temp RBF	88 °C (190 °F) máx.		Temperatura de aire en el aftercooler delantero derecho
14	Intake Manifold Temp RBR	88 °C (190 °F) máx.		Temperatura de aire en el aftercooler posterior derecho
15	Engine Oil Temp	90-104 °C (195-220 °F)		Temperatura de aceite motor
16	Pre Oil Filter Pressure	414-552 kPa (60-80 psi)		Presión de aceite motor a la entrada del filtro
17	Oil Pressure	414-552 kPa (60-80 psi)		Presión de aceite motor a la salida del filtro
18	Oil Filter Differential Pressure	34-69 kPa (5-10 psi)		Presión diferencial debido a los filtros de aceite
19	Crankcase Pressure	1.25-3.25 kPa (5-13 inH2O)		Presión de gases en el cárter
20	Engine Coolant Level	1		Nivel de refrigerante motor
21	Engine Coolant Temp	82-100 °C (180-212 °F)		Temperatura de refrigerante motor
22	Coolant Pressure	103-275 kPa (15-40 psi)		Presión de refrigerante motor
23	Avg Exhaust Temp	704 °C (1300 °F) máx.		Temperatura de escape promedio
24	Exhaust Port Temp #1 LB	704 °C (1300 °F) máx.		Temperatura de escape cilindro 1LB
25	Exhaust Port Temp #1 RB	704 °C (1300 °F) máx.		Temperatura de escape cilindro 1RB
26	Exhaust Port Temp #2 LB	704 °C (1300 °F) máx.		Temperatura de escape cilindro 2LB
27	Exhaust Port Temp #2 RB	704 °C (1300 °F) máx.		Temperatura de escape cilindro 2RB
28	Exhaust Port Temp #3 LB	704 °C (1300 °F) máx.		Temperatura de escape cilindro 3LB
29	Exhaust Port Temp #3 RB	704 °C (1300 °F) máx.		Temperatura de escape cilindro 3RB
30	Exhaust Port Temp #4 LB	704 °C (1300 °F) máx.		Temperatura de escape cilindro 4LB
31	Exhaust Port Temp #4 RB	704 °C (1300 °F) máx.		Temperatura de escape cilindro 4RB
32	Exhaust Port Temp #5 LB	704 °C (1300 °F) máx.		Temperatura de escape cilindro 5LB
33	Exhaust Port Temp #5 RB	704 °C (1300 °F) máx.		Temperatura de escape cilindro 5RB
34	Exhaust Port Temp #6 LB	704 °C (1300 °F) máx.		Temperatura de escape cilindro 6LB
35	Exhaust Port Temp #6 RB	704 °C (1300 °F) máx.		Temperatura de escape cilindro 6RB
36	Exhaust Port Temp #7 LB	704 °C (1300 °F) máx.		Temperatura de escape cilindro 7LB
37	Exhaust Port Temp #7 RB	704 °C (1300 °F) máx.		Temperatura de escape cilindro 7RB
38	Exhaust Port Temp #8 LB	704 °C (1300 °F) máx.		Temperatura de escape cilindro 8LB
39	Exhaust Port Temp #8 RB	704 °C (1300 °F) máx.		Temperatura de escape cilindro 8RB
40	ECM Temperature	48-71 °C (120-160 °F)		Temperatura del ECM del motor
41	Battery Voltage	24 v		Voltaje de la batería
42	Fuel Consumption Rate	15-25 gal/h		Ratio de consumo de combustible
43	Inst. Fuel Consumption Rate	70-100 gal/h		Ratio Instantáneo de consumo de combustible
44	Instantaneous Engine Load	80-100%		Carga instantánea del motor
45	Instantaneous Load Factor	80-100%		Factor de carga instantánea
46	Instantaneous Speed Factor	90-110%		Factor de velocidad instantánea
47	Air Filter Restriction	5.5 kPa (22 inH ₂ O) máx.		Restricción de filtro de aire
48	Stall Time	15 - 25 seg.		Tiempo de calado

OBSERVACIONES :

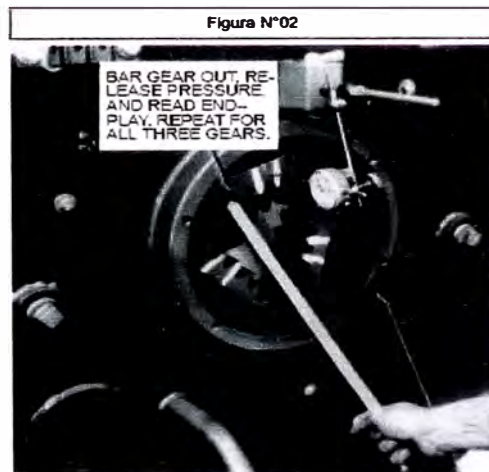
Anexo B

Medición de juego axial y backlash de Planetarios

MEDICION DE JUEGO AXIAL DE ENGRANAJES PLANETARIOS

1. Sacar el piñón solar y chequear la condición del diente. Un fácil chequeo para ver el desgaste del diente es medir el ancho del flat en la parte superior del diente. El diente de un piñón solar nuevo tiene que medir 0.125" (3.175 mm) ; el límite condenatorio es 0.046(3/64)" (1.19 mm). También chequear la condición del diente del engranaje en el piñón solar en los engranajes planetarios.
2. Chequear el oil baffle y snap rings por posible daño.
3. Asegúrese que hay suficiente luz del piñón solar hacia su tapa.
4. Revisar el juego del engranaje planetario. Esta revisión es realizada para identificar el desgaste del rodamiento del piñón del planetario. Esto debe ser realizado en intervalos de 2,500 horas o siempre que exista la preocupación de que el motor de tracción debe o no continuar en servicio. Esto debe hacerse cuando un motor de tracción ha trabajado satisfactoriamente bastantes horas de servicio y ha alcanzado las horas para su cambio programado o cuando un motor de tracción con pocas horas de servicio está mostrando signos de desgaste ; esto se refleja en el análisis de aceite con alto contenido de hierro(Fe), cromo(Cr) o silicio(Si). Realizar los siguientes pasos para hacer un chequeo del juego del engranaje planetario:
 - a. Sacar la tapa del piñón solar y luego el piñón solar.
 - b. Montar un dial indicator(reloj comparador) como se muestra en la figura 1.
 - c. Usando una pata de cabra presione el engranaje planetario para chequear hasta donde llega. Ser cuidadoso en no deformar la tapa del engranaje.
 - d. Setear el dial indicator(reloj comparador) a cero.
 - e. Palanquear el engranaje planetario hacia afuera hasta donde llegue, ver figura 2.
 - f. Leer el dial indicator(reloj comparador). Si éste lee mas de 0.04"(1 mm) entonces indica un excesivo desgaste del rodamiento del piñón del planetario. El motor de tracción debe ser sacado del camión y enviado a reparación.
 - g. Repetir los pasos del 'b' al 'f' para cada engranaje planetario.

Nota: La base magnética del dial indicator(reloj comparador) debe ser colocado en la tapa del planetario y no en una cara del engranaje para permitir leer la deflección de la tapa del planetario como parte de la lectura del juego del engranaje.



MEDICION DE BACKLASH DE ENGRANAJES PLANETARIOS

Nota: Este chequeo es usado para indicar la diferencia de juego entre engranajes. Cuando el juego llega a ser grande, la distribución de carga en el engranaje puede ser afectado y esto puede afectar adversamente los dientes del piñón solar y la armadura del drive ring. La comparación de las tres lecturas puede indicar rodamientos desgastados o astillados.

Revisar el juego(backlash) del engranaje planetario con los siguientes pasos.

- a. Remover el piñón solar.
- b. Instalar la base magnética del dial indicator(reloj comparador) en la tapa del planetario. Un agujero perforado en una barra permitirá ser fijado con pernos al agujero roscado en la posición 5 horaria de la tapa del piñón solar.
- c. Localizar el puntero del indicador aproximadamente en el centro del diente.
- d. Rotar el diente del engranaje fuera del puntero del indicador hasta donde llegue. Setear el indicador a cero.
- e. Rotar el diente del engranaje hacia el puntero del indicador hasta donde llegue. Leer el indicador y registrar el valor.
- f. Repetir los pasos del 'c' al 'e' para los tres engranajes planetarios.
- g. Compare las lecturas. Si la diferencia entre algunos dos engranajes es 0.1"(2.54 mm) o mayor o si el juego de algunos de los engranajes es menor de 0.005"(0.127 mm), el motor de tracción debe ser sacado de servicio.

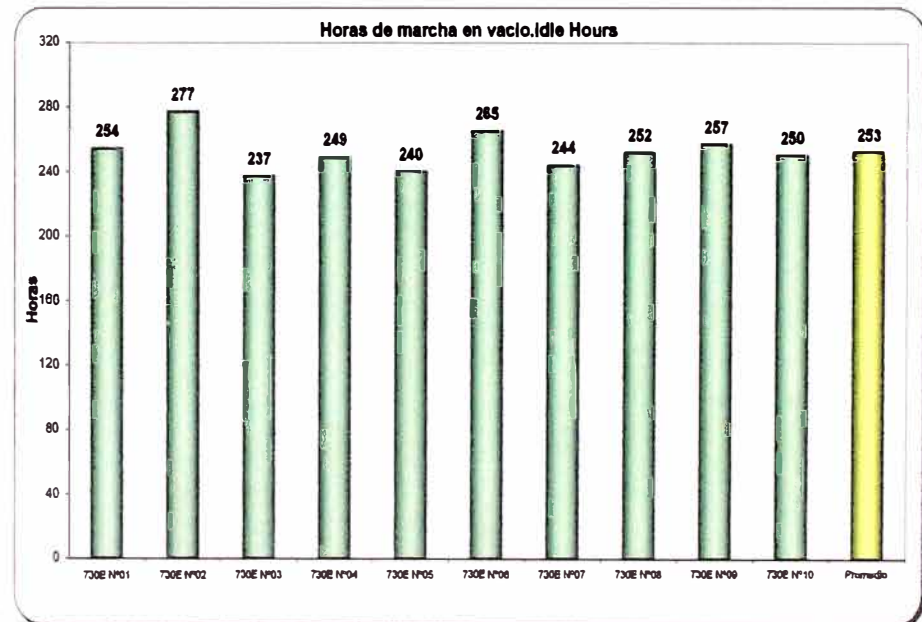
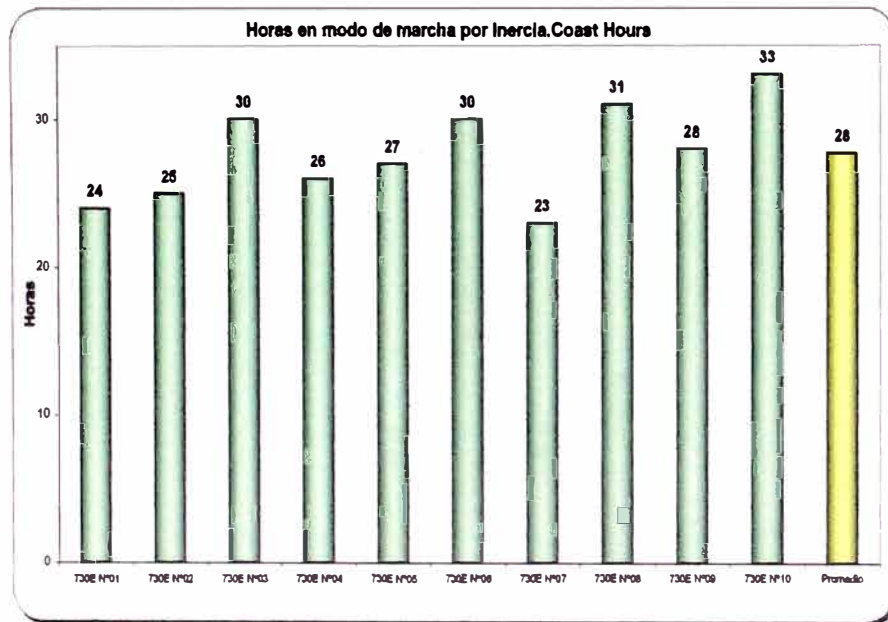
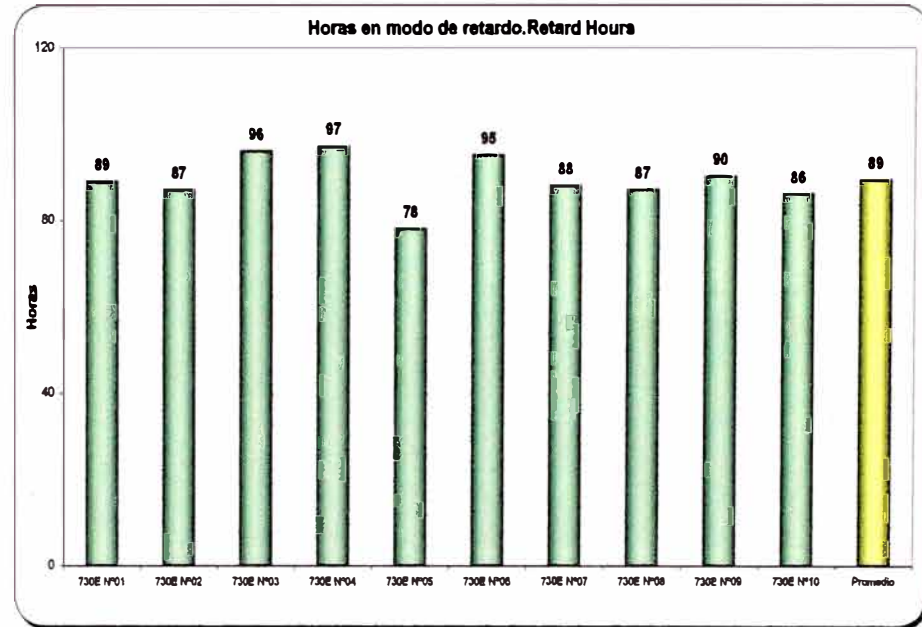
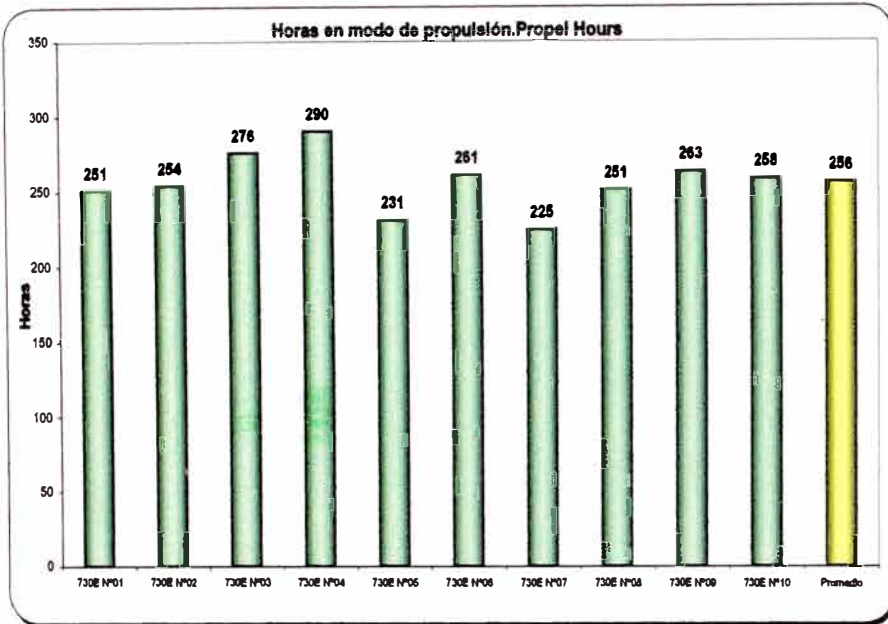
Anexo C

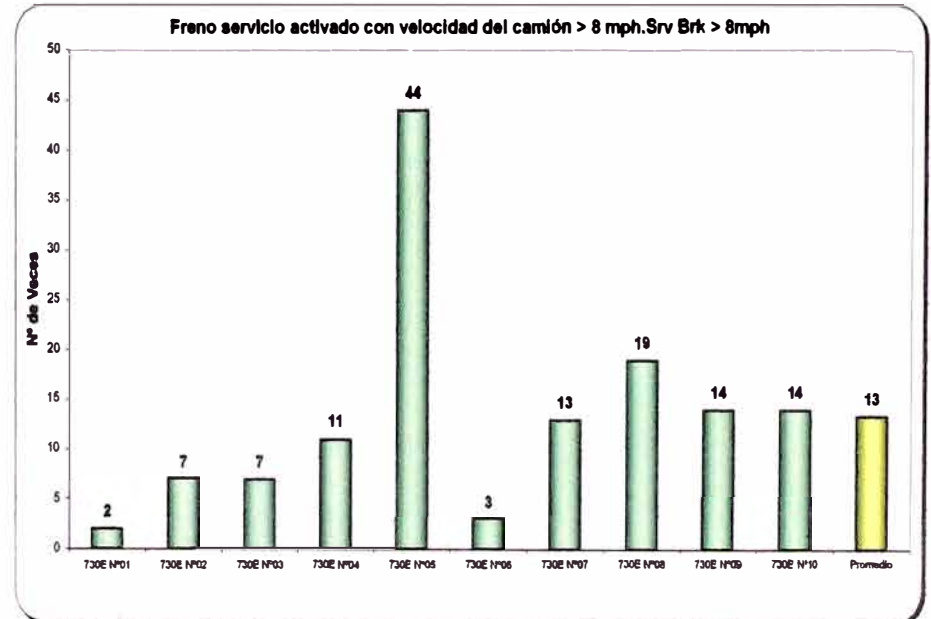
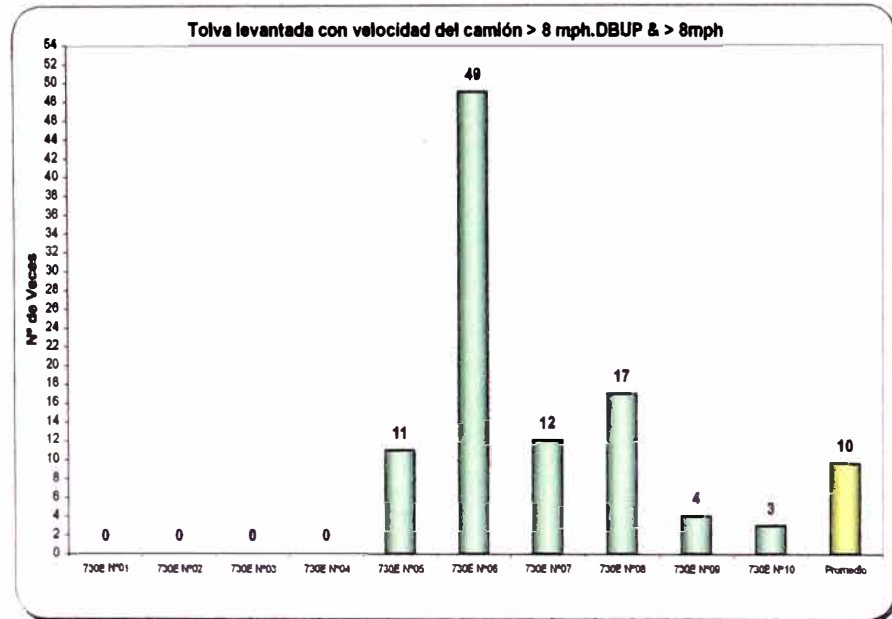
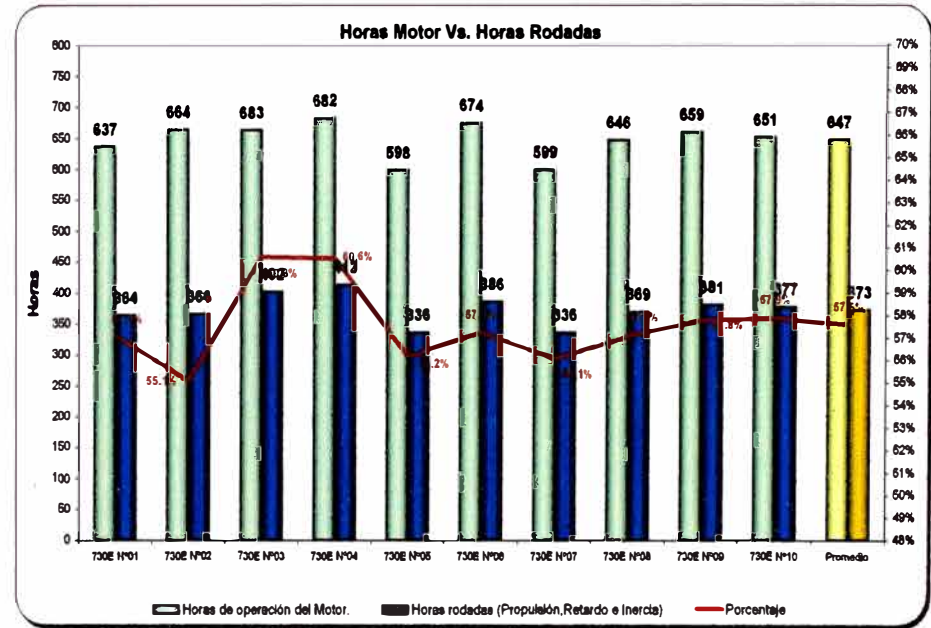
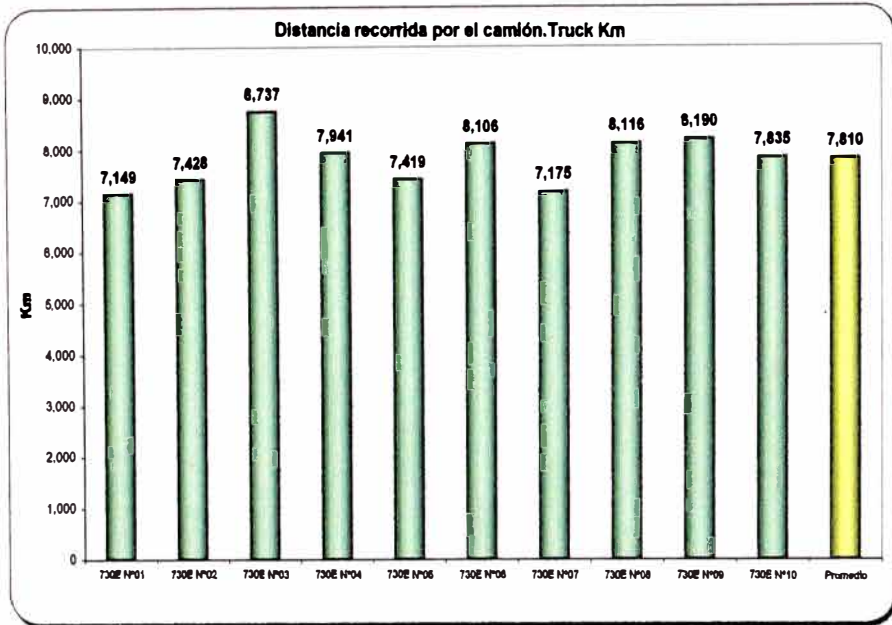
Reporte Statex 730E Noviembre 2007

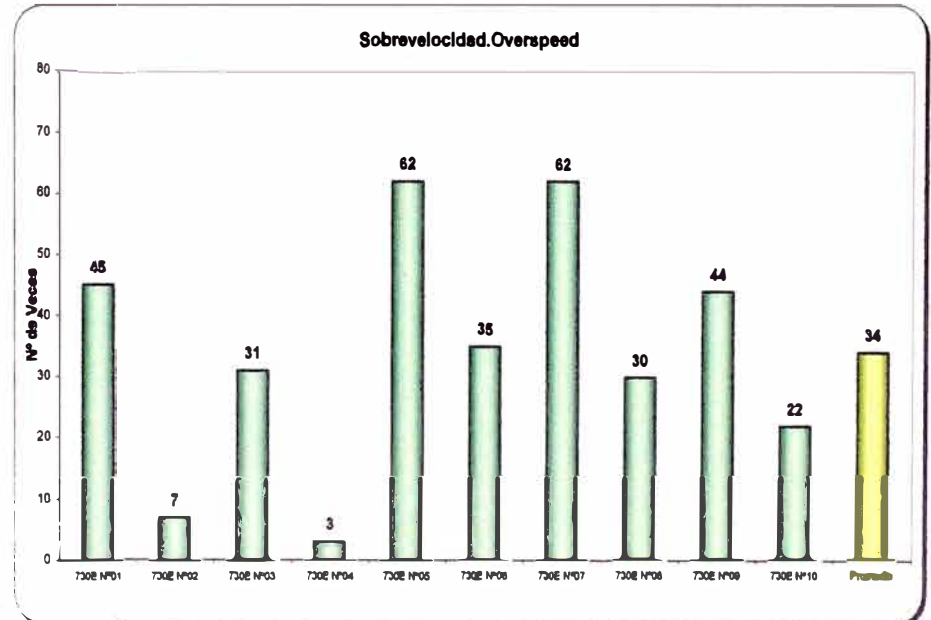
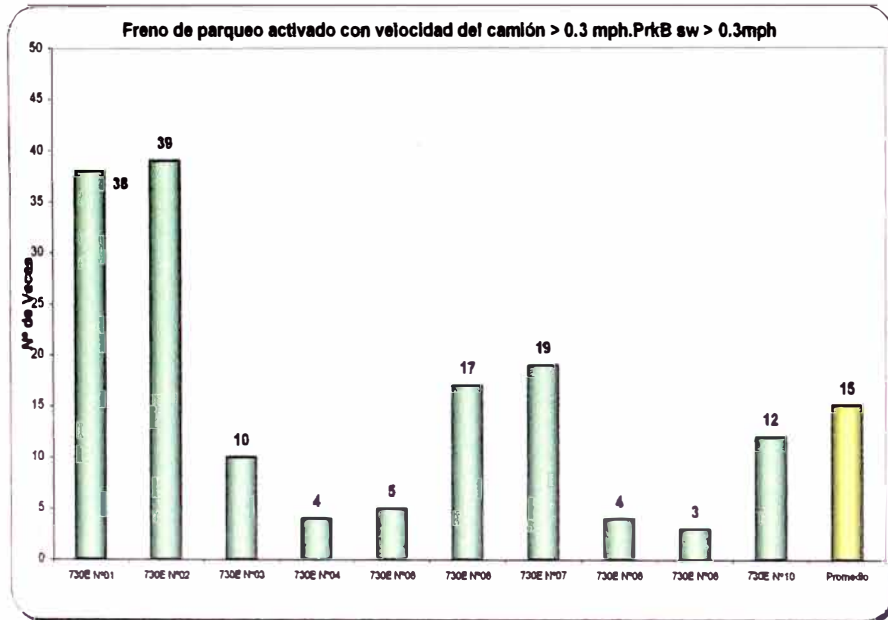
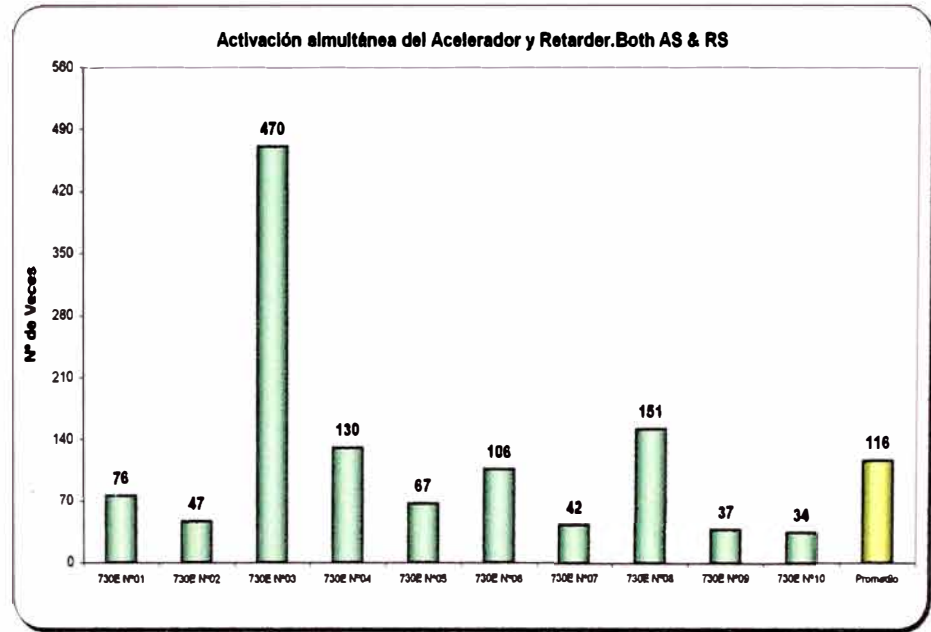
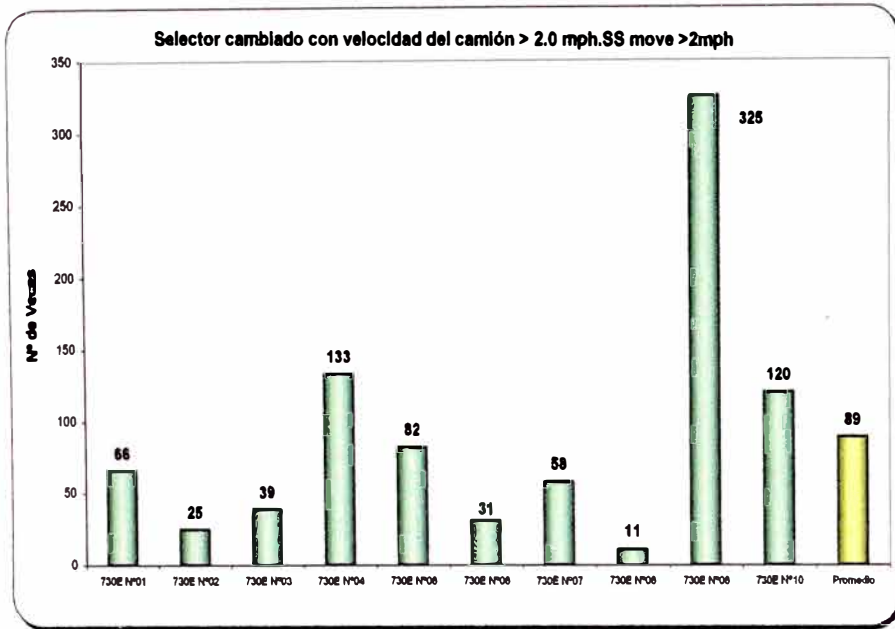
REPORTE DE STATEX CAMIONES 730E NOVIEMBRE 07



ID	Descripción		Condiciones de cuenta	Units	730E	730E	730E	730E	730E	730E	730E	730E	730E	730E	Promedio
					Nº01	Nº02	Nº03	Nº04	Nº05	Nº06	Nº07	Nº08	Nº09	Nº10	
1	Engine Oper.	Horas de operación del Motor.	Número de horas que el motor ha operado a mas de 450 RPM.	hours	637	664	663	662	598	674	599	646	659	651	647
2	Wheel Oper.	Horas rodadas (Propulsión, Retardo e Inercia)	Número de horas que la rueda ha sido impulsada en modo de propulsión, retardo o inercia.	hours	364	366	402	413	336	386	336	369	361	377	373
5	Propel Hours	Horas en modo de propulsión.	Número de horas en modo de propulsión cuando el modo de propulsión está activo.	hours	251	254	276	290	231	281	225	251	263	258	256
6	Retard Hours	Horas en modo de retardo.	Número de horas en modo de retardo cuando el modo de retardo está activo.	hours	89	67	96	97	78	95	88	87	90	86	89
7	Coast Hours	Horas en modo de marcha por inercia.	Número de horas en modo de marcha por inercia cuando el modo de marcha por inercia está activo.	hours	24	25	30	28	27	30	23	31	28	33	28
8	Idle Hours	Horas de marcha en vacío.	Número de horas con el motor en marcha en vacío y camión estacionado.	hours	254	277	237	249	240	265	244	252	257	250	253
14	Truck Km	Distancia recorrida por el camión.	Está activo cuando la alimentación de control (CPR) está encendida, no considera la dirección del vehículo.	km	7,149	7,428	8,737	7,941	7,419	8,106	7,175	8,116	8,190	7,835	7,810
48	DBUP & > 8mph	Tolva levantada con velocidad del camión mayor a 8.0 mph (12.8 km/h)	Número de veces que la tolva ha estado levantada con velocidad del camión mayor a 8.0 mph (12.8 km/h)	times	0	0	0	0	11	49	12	17	4	3	10
49	Srv Brk > 8mph	Freno servicio activado con velocidad del camión mayor a 8.0 mph (12.8 km/h)	Número de veces que el freno de servicio ha sido accionado con velocidad del camión mayor a 8.0 mph (12.8 km/h)	times	2	7	7	11	44	3	13	19	14	14	13
54	SS move > 2mph	Interruptor selector cambiado con velocidad del camión mayor a 2.0 mph (3.2 km/h)	Número de veces que el interruptor selector de marchas (AVANCE, REVERSA y NEUTRO) ha sido accionado con velocidad del camión mayor a 2.0 mph (3.2 km/h)	times	86	25	39	133	82	31	58	11	325	120	89
58	Both AS & RS	Activación simultánea del Acelerador y Retarder	Número de veces que el pedal del acelerador (AS) y del retarder (RS) se han activado al mismo tiempo.	times	76	47	470	130	67	108	42	151	37	34	116
71	PriB sw > 0.3mph	Freno de parqueo activado y velocidad del camión mayor a 0.3 mph (0.48 km/h)	Número de veces que el interruptor de freno de estacionar (freno de parqueo) ha sido accionado con velocidad del camión mayor a 0.3 mph (0.48 km/h)	times	36	39	10	4	5	17	19	4	3	12	15
166	Overspeed	Sobrevelocidad.	Número de veces que la velocidad del camión excede el límite predeterminado de 26.0 mph (41.8 km/h)	times	45	7	31	3	62	35	62	30	44	22	34
167	OS Overshoot	Sobrevelocidad excesiva.	Número de veces que la velocidad del camión excede el límite predeterminado de 28.0 mph	times	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0







Anexo D

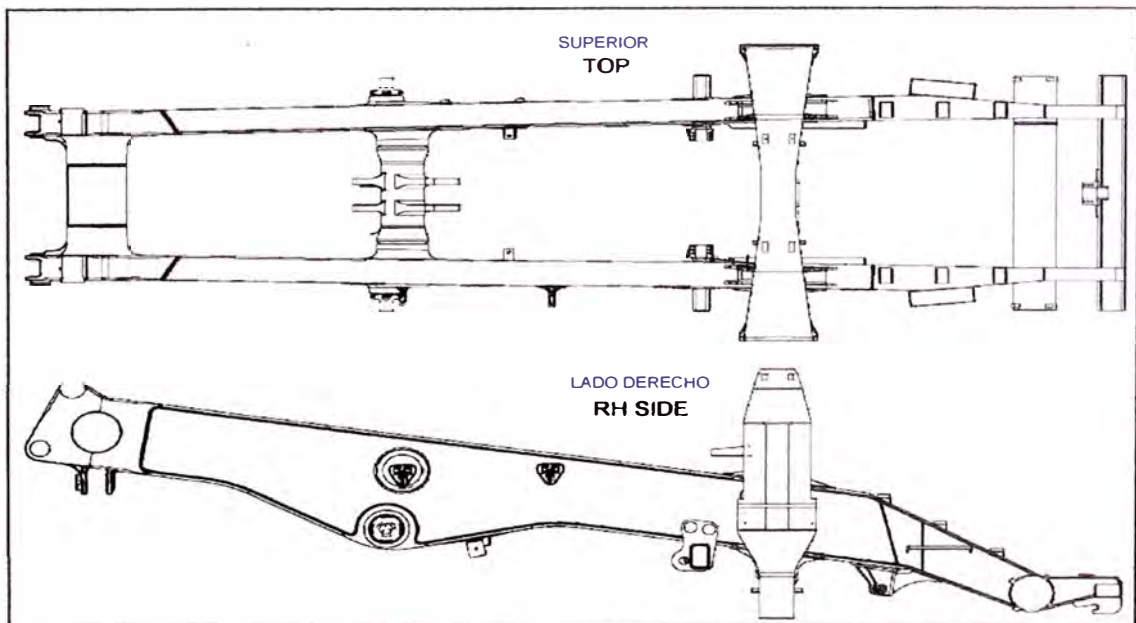
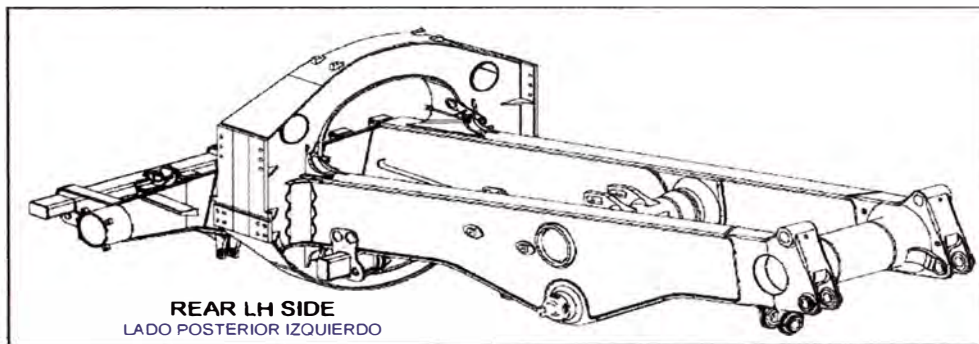
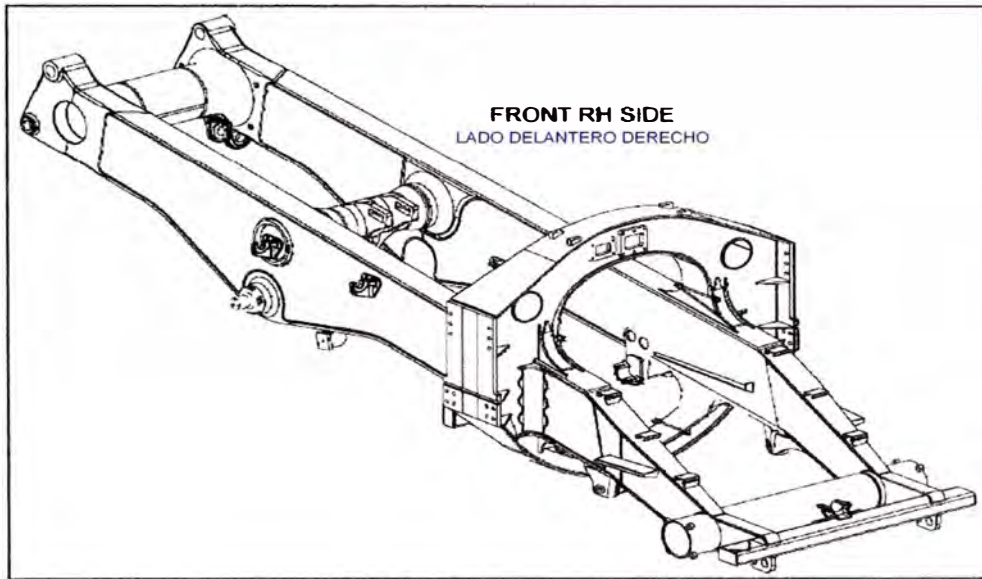
Inspección de chasis 730E

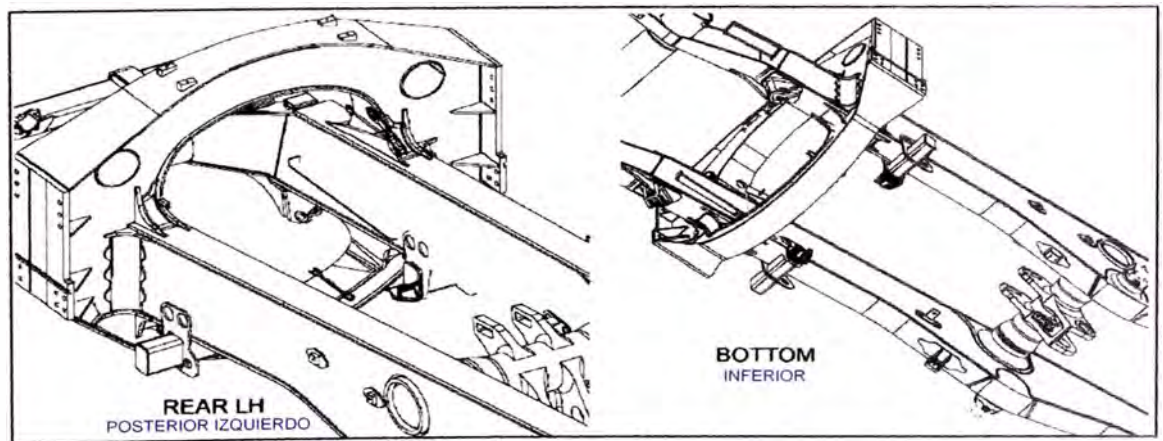
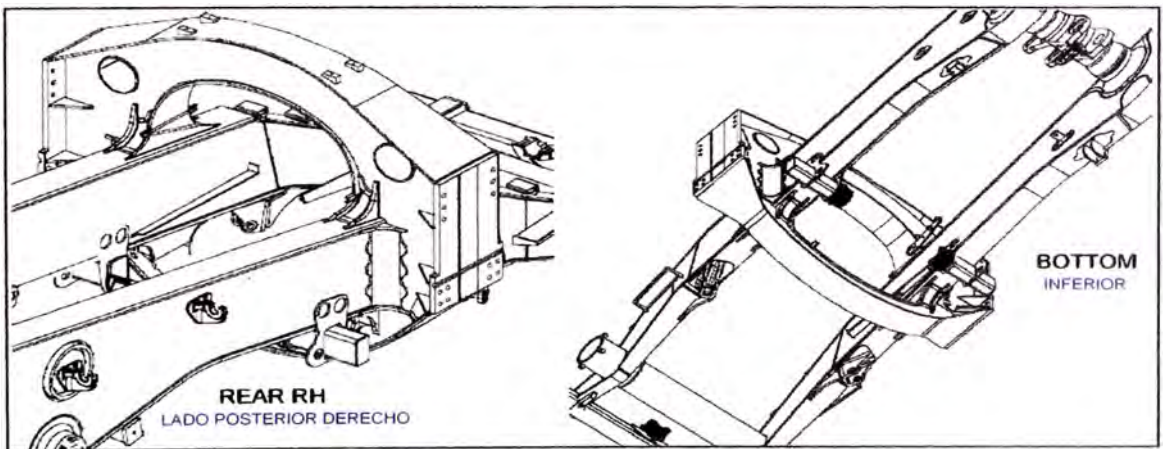
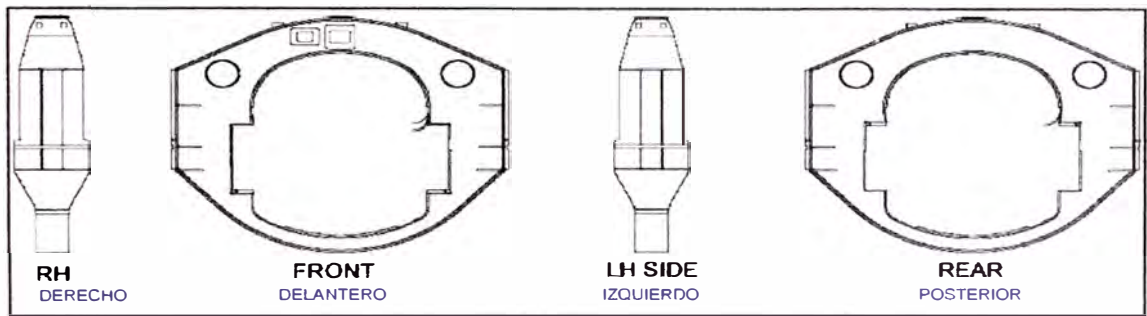
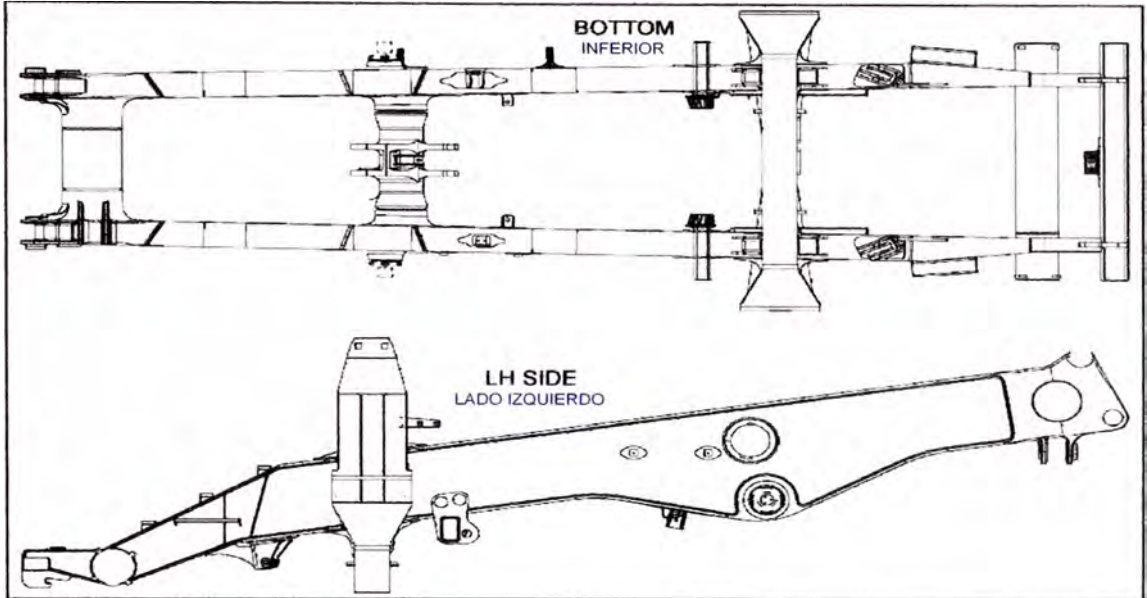
CAMION :

FECHA :

NRO. DE SERIE :

HOROMETRO :

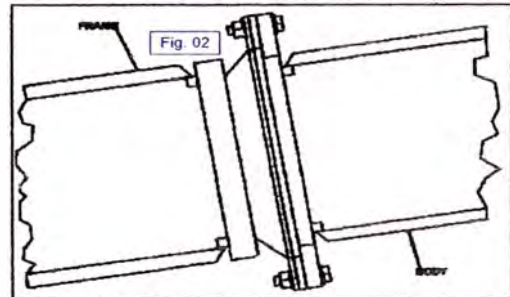
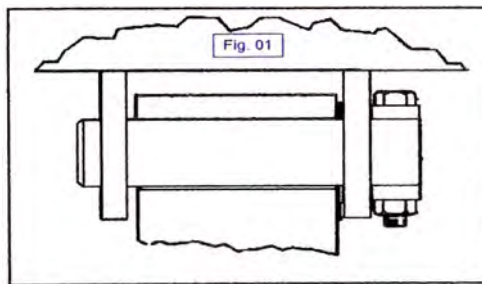




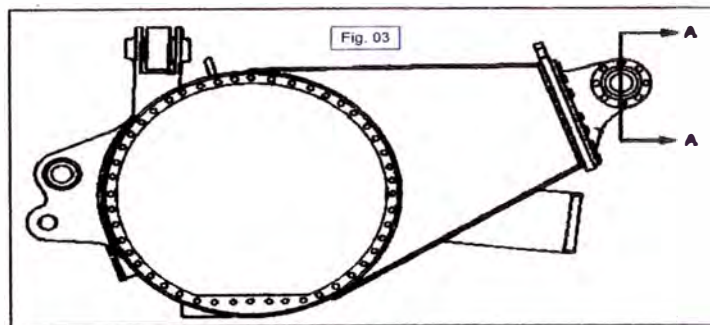
N° de ref.	Posición de la rajadura y/o daño	Longitud de la rajadura	Observaciones

Inspeccionar el juego lateral de la tolva ^{Fig 01}	Observaciones
Lado Derecho	
Lado Izquierdo	

Inspeccionar la condición del pad de tolva ^{Fig 02}	Posterior	Central	Delantero
Lado Derecho			
Lado Izquierdo			



Inspeccionar la condición del Pin Pivot Central ^{Fig 03}	Observaciones
Lado Central	



Observaciones y Recomendaciones

Anexo E

Inspección de tolva 730E

FORMATO DE INSPECCION DE TOLVA



1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	

EQUIPO	
FECHA DE INSPECCION	
FECHA DE INSTALACION	
HORAS DE SERVICIO	

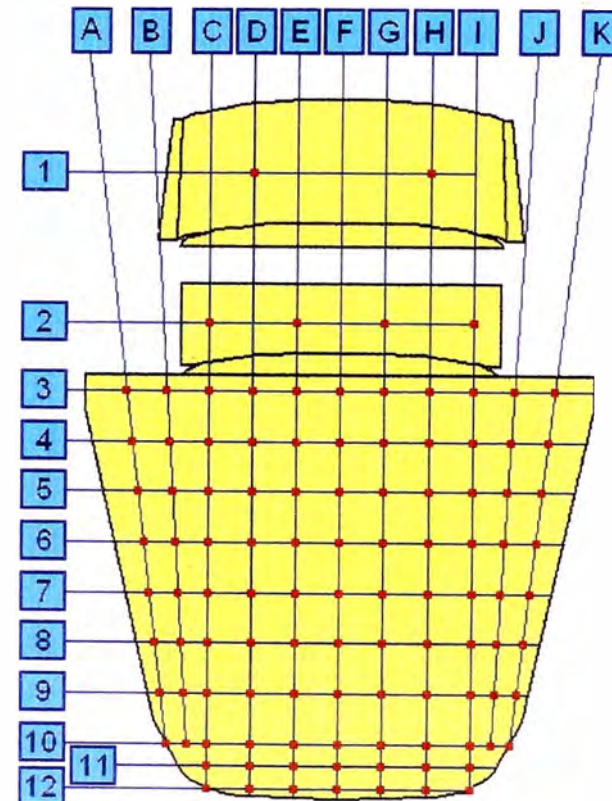
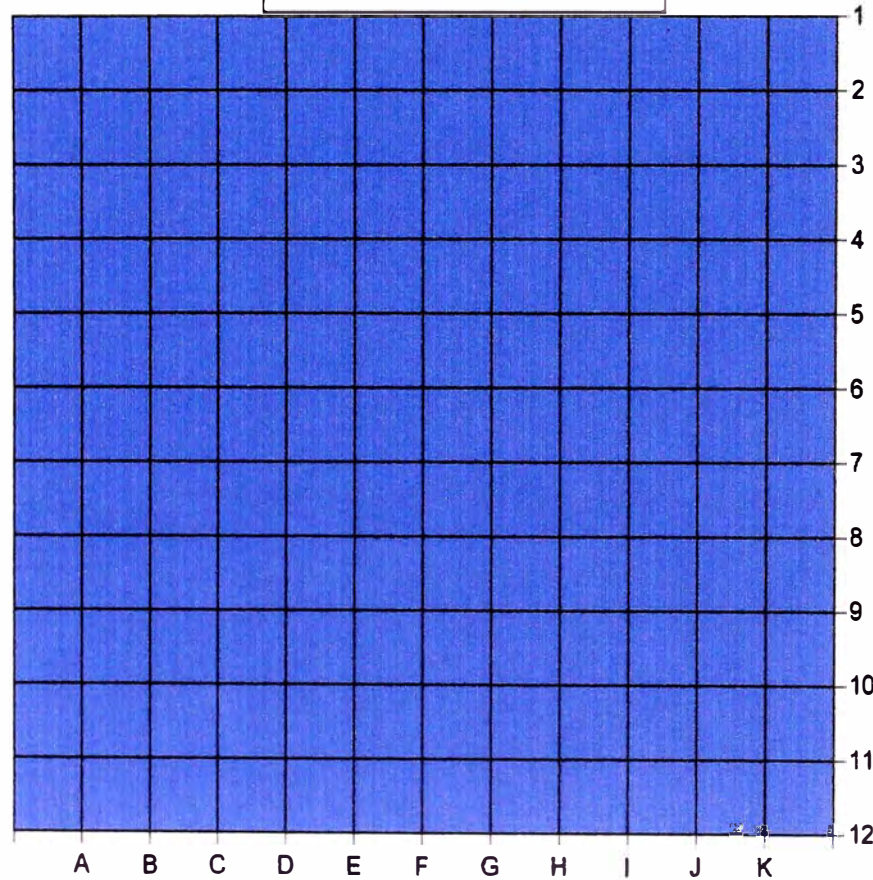
CODIGO DE TOLVA	
HOROMETRO INSPECCION	
HOROMETRO DE INSTALACION	
TIPO DE TOLVA	LIGHT

ESPEORES DE TRIANGULOS

3				
6				
9				
	D	E	G	H

DESGASTE DE TOLVAS DT-HILOAD 730E

■ 0-0.2 ■ 0.2-0.4 □ 0.4-0.6 □ 0.6-0.8 ■ 0.8-1



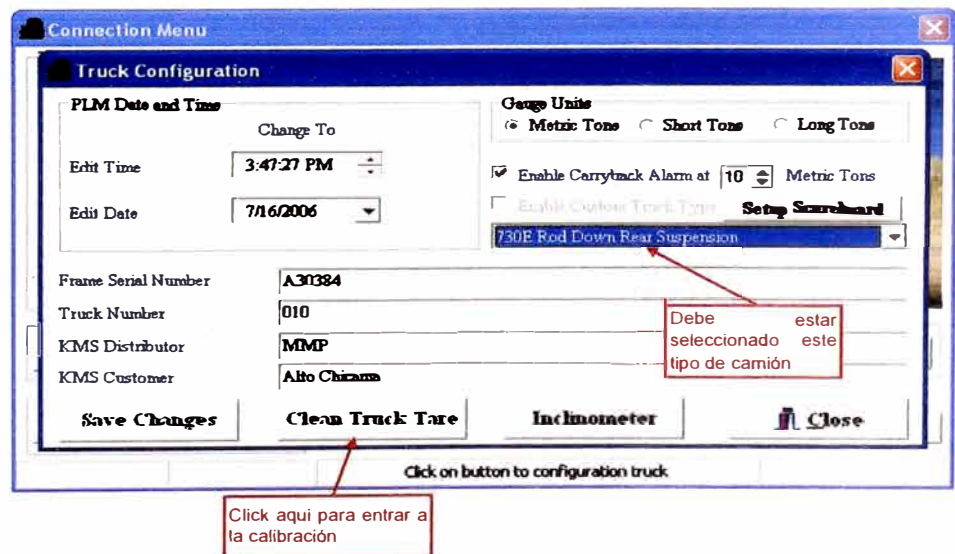
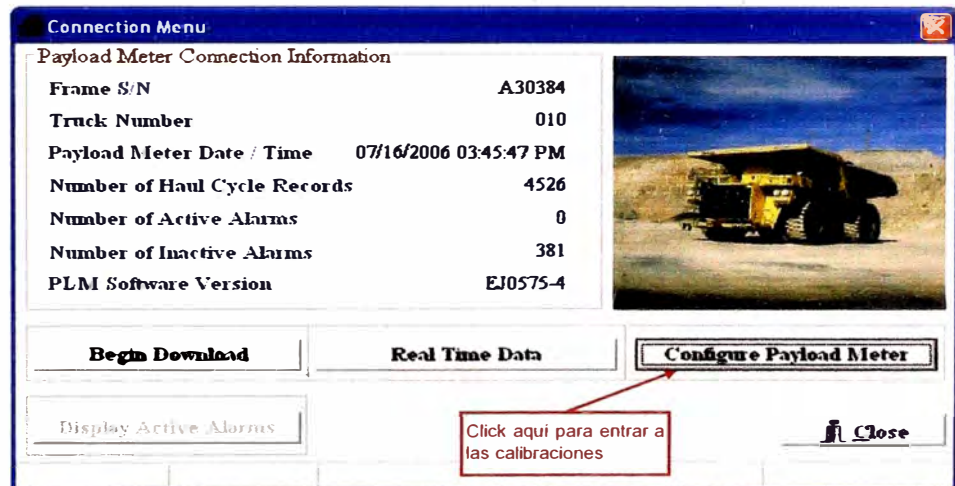
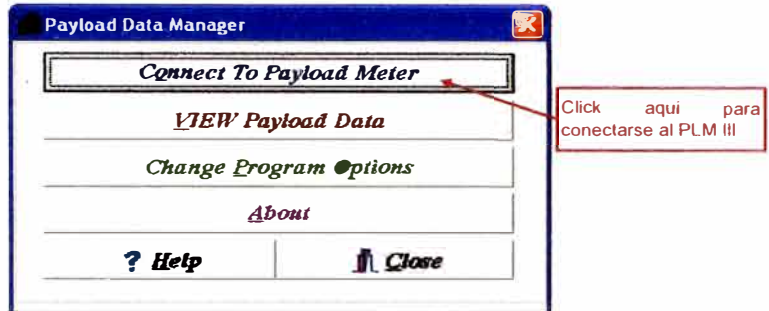
Anexo F

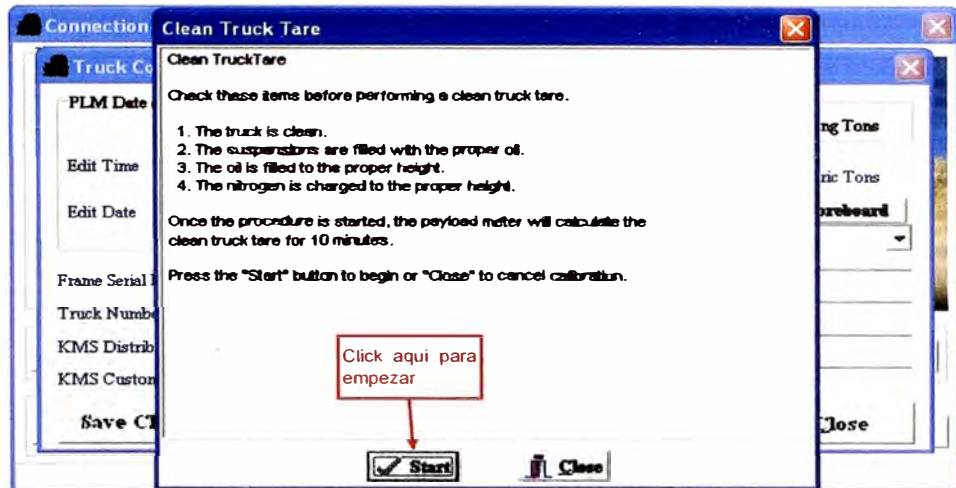
Calibraciones con el PLM III para camión 730E

Las siguientes calibraciones utilizando el software Payload Meter III (PLM III) deben realizarse después que se haya realizado cualquiera de los siguientes trabajos :

- Cambio de cualquiera de las cuatro suspensiones.
- Cuando se hace relleno de aceite a cualquiera de las cuatro suspensiones.
- Cuando se regula la presión del gas en cualquiera de las cuatro suspensiones.

CALIBRACION DE LA TARA NETA DEL CAMION (CLEAN TRUCK TARE)





La traducción es como sigue:

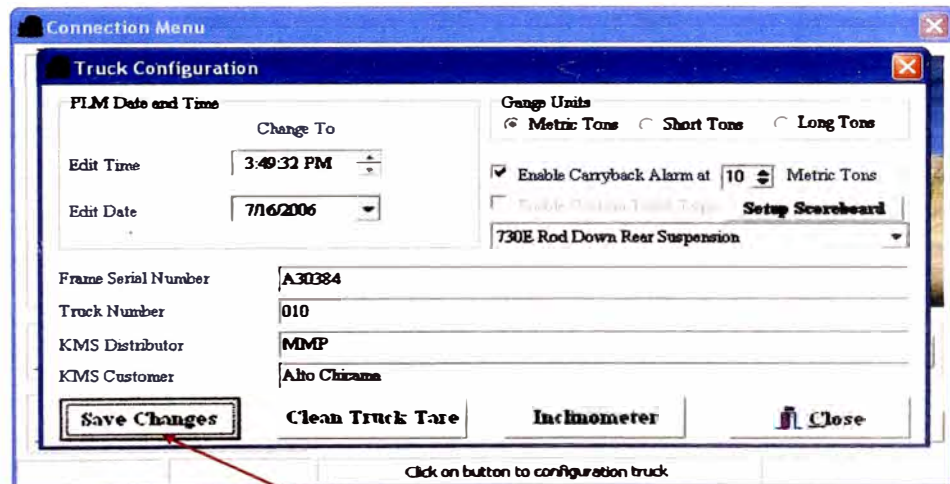
Tara neta del camión

Revise estos items antes de realizar la tara neta del camión.

1. El camión está limpio.
2. Las suspensiones fueron llenadas con el aceite correcto.
3. El aceite está en el nivel correcto.
4. El nitrógeno se cargó hasta el nivel correcto.

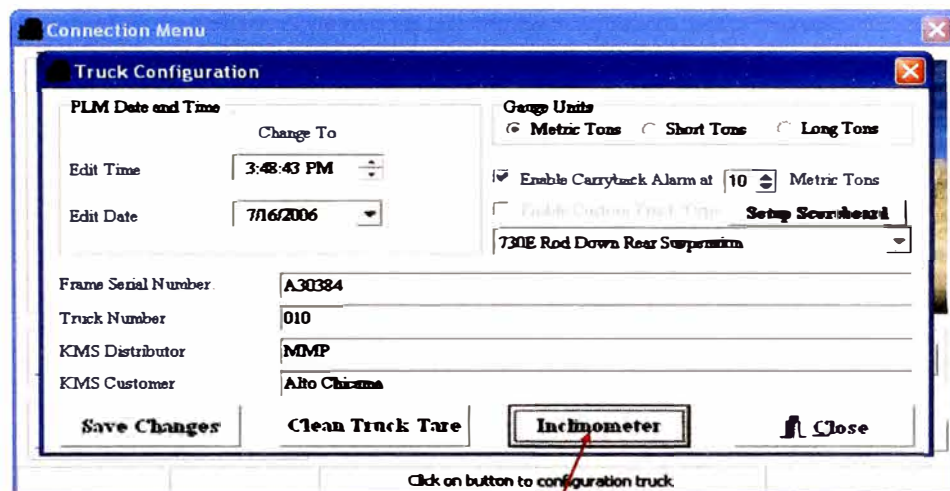
Una vez que se inicie el procedimiento, el Payload Meter calculará la tara neta del camión durante 10 minutos.

Presione el botón "Start" para comenzar o "Close" para cancelar la calibración.

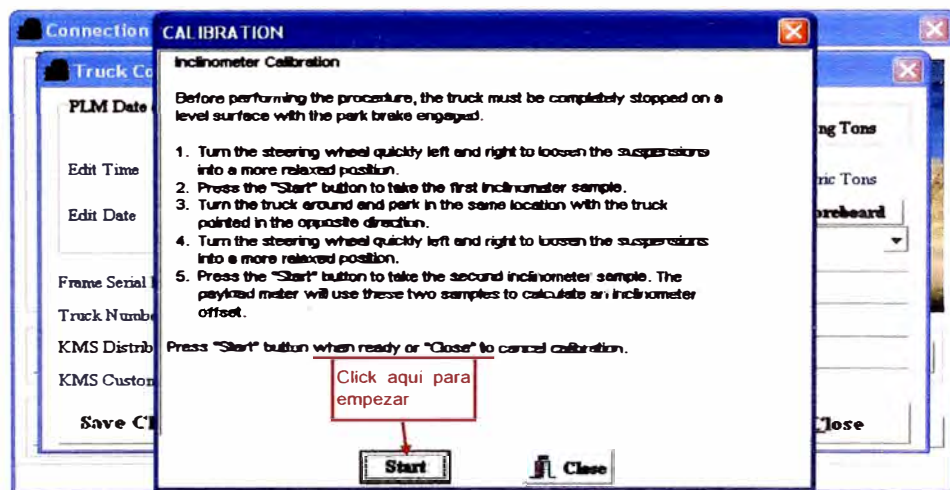


Luego de 10 minutos de calibración cerrar la ventana anterior y dar click en "Save Changes" (Guardar los cambios)

CALIBRACION DEL INCLINOMETRO (INCLINOMETER CALIBRATION)



Click on button to configuration truck
Click aqui para entrar a la calibración



Click aqui para empezar

La traducción es como sigue:

Calibración del inclinómetro

Antes de realizar el procedimiento, el camión se debe detener completamente sobre una superficie nivelada con el freno de parqueo enganchado.

1. Gire la volante de la dirección rápidamente hacia la derecha y hacia la izquierda para colocar las suspensiones en una posición mas relajada.
2. Presione el botón "Start" para tomar la primera muestra del inclinómetro.
3. De una vuelta en el camión y estacionalo en el mismo punto pero mirando en dirección opuesta.
4. Gire la volante de la dirección rápidamente hacia la derecha y hacia la izquierda para colocar las suspensiones en una posición mas relajada.
5. Presione el botón "Start" para tomar la segunda muestra del inclinómetro. El Payload Meter usará estas 2 muestras para calcular la compensación del inclinómetro.

Presione el botón "Start" cuando esté listo o "Close" para cancelar la calibración.

Anexo G

Inspección de tolva 730E N°06, 10-07-09



1			9.2		9.4		9.2		9.5		
2			9.5		9.1		9.3		9.7		
3	9.2	9.3	17.8	17.9	16.2	16.3	16.6	16.4	16.9	9.8	9.7
4	9.5	8.9	16.0	15.0	17.0	17.8	17.0	14.2	14.5	6.0	6.4
5	8.9	8.6	12.6	13.0	16.2	16.3	15.4	11.9	13.3	6.3	6.2
6	8.9	8.0	10.1	11.8	16.2	16.2	16.4	9.9	11.0	7.0	6.1
7	6.8	6.1	6.9	12.4	19.8	13.8	12.3	8.2	11.5	7.1	6.6
8	8.9	7.5	6.8	4.6	10.3	11.4	11.0	10.0	7.0	7.4	6.8
9	10.1	9.5	16.0	9.9	11.7	10.3	10.6	7.8	8.1	9.0	9.4
10	8.9	8.0	8.8	6.9	6.4	6.2	7.6	7.5	8.1	8.0	6.6
11	6.1	5.2	6.4	5.1	5.3	4.9	7.0	6.7	6.0	5.1	4.9
12	6.1	5.2	6.2	5.9	5.9	5.5	6.2	6.3	4.9	5.3	5.0
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K

EQUIPO	730E N° 06
FECHA DE INSPECCION	10-Jul-09
FECHA DE INSTALACION	16-Feb-07
HORAS DE SERVICIO	13,772

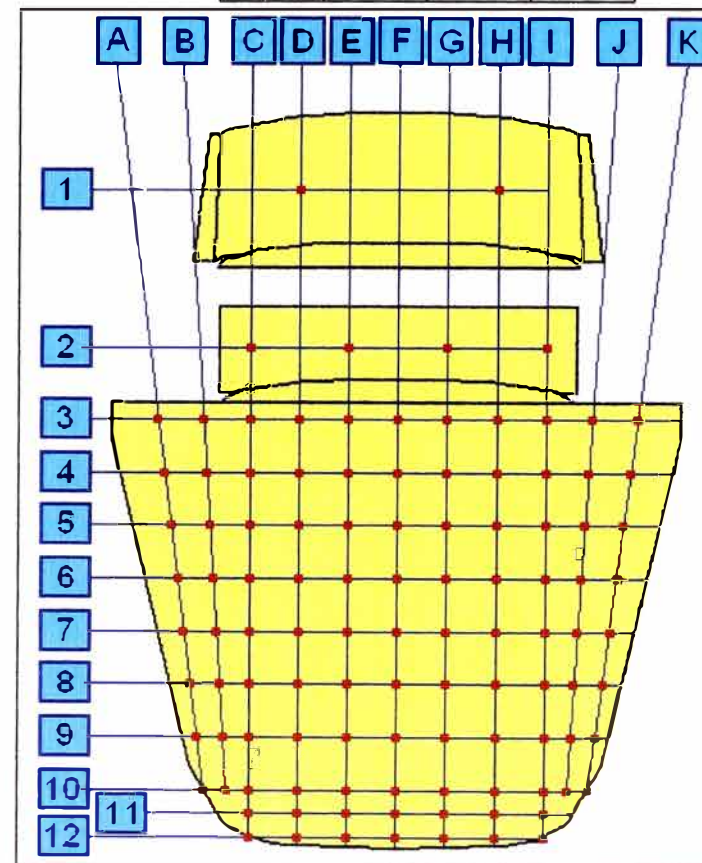
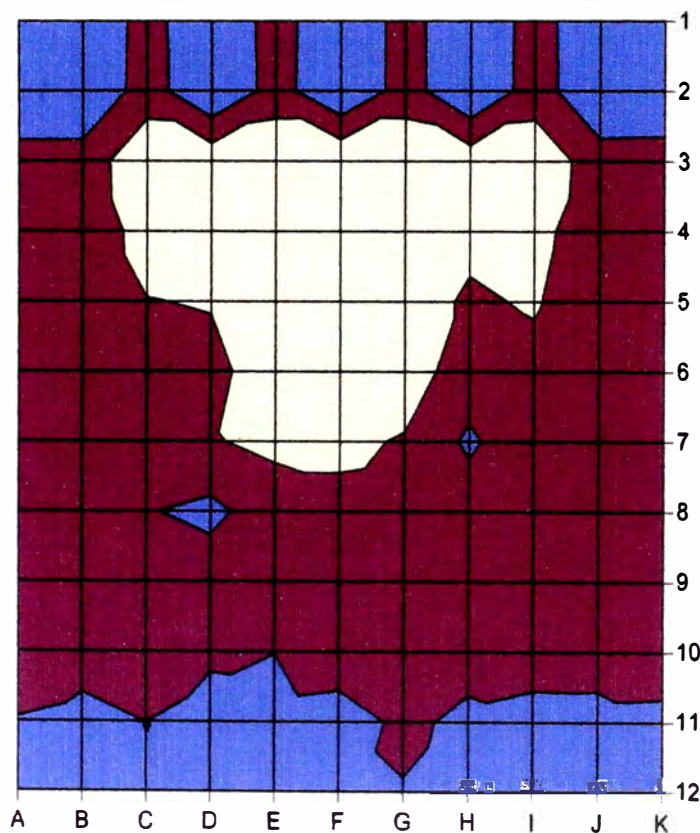
CODIGO DE TOLVA	6
HOROMETRO INSPECCION	26,950
HOROMETRO DE INSTALACION	13,178
TIPO DE TOLVA	LIGHT

ESPEORES DE TRIANGULOS

3	18.0	18.2	18.1	17.9
6	16.5	17.0	16.6	16.1
9	13.8	14.8	13.4	14.9
	D	E	G	H

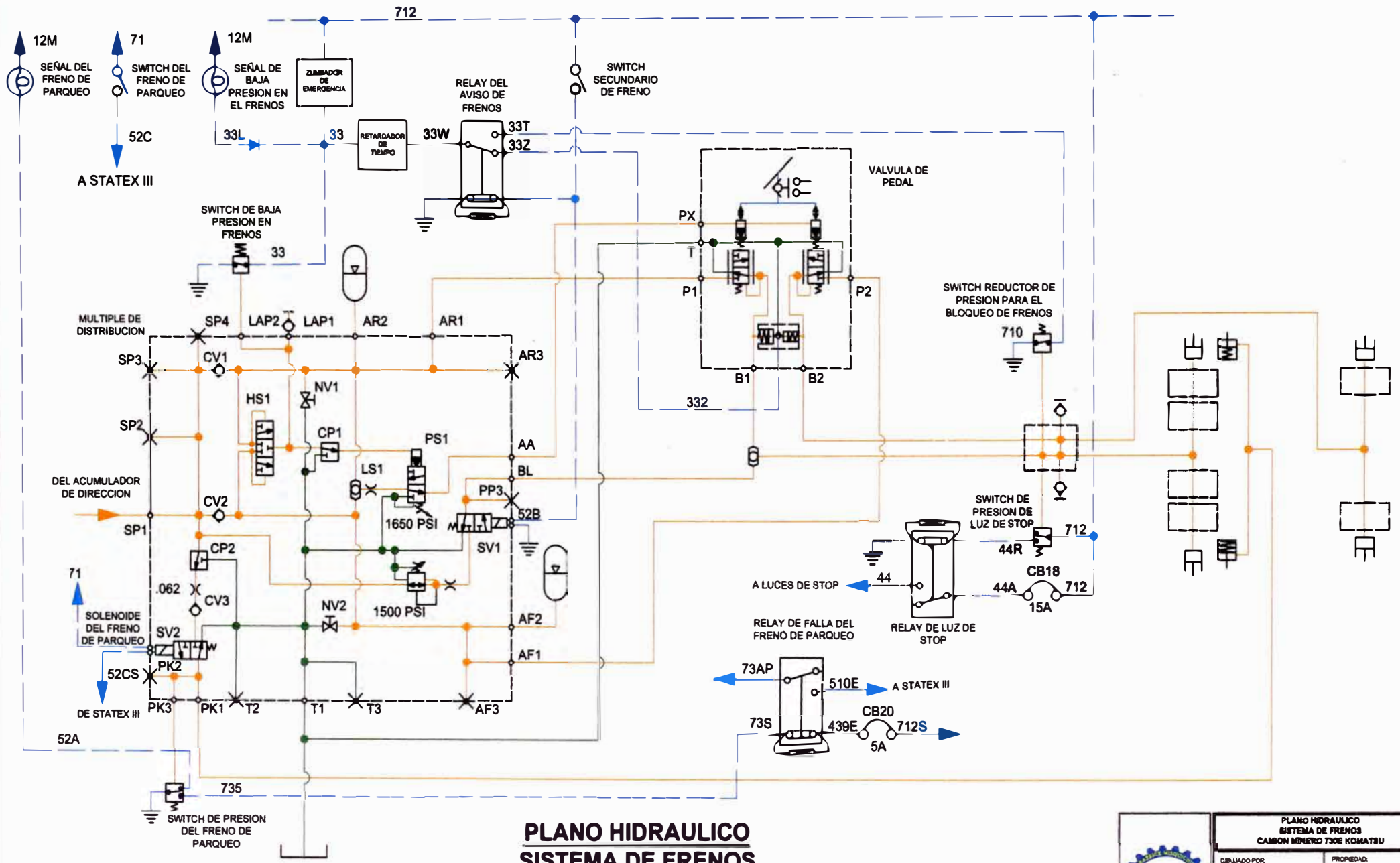
DESGASTE DE TOLVAS DT-HILOAD 730E

■ 0.0-6.4 ■ 6.4-12.7 □ 12.7-19.1



Anexo H

Plano hidráulico del sistema de frenos



**PLANO HIDRAULICO
SISTEMA DE FRENOS
CAMION MINERO 730E KOMATSU**

		PLANO HIDRAULICO SISTEMA DE FRENOS CAMION MINERO 730E KOMATSU
DISEÑADO POR: LUIS ANGEL VALENCIA MORON	PROPIEDAD: INGENIERIA DE MANTENIMIENTO - MINA	
EMPRESA: MINERA BARRICK MISOQUICHILCA - LAGUNAS NORTE		
REVISADO POR: INGENIERO MARTIN CASTRO ASTUDILLO		
FECHA: 12 DE DICIEMBRE DE 2007		

Anexo I

PM Clinic Sistema de frenos 730E

Equipo :

Horómetro :

Fecha :

Motivo :

SISTEMA DE FRENO				
Presión a medir	Condición de medida	Valor estándar PSI Mpa	Valor medido PSI Mpa	Estado
Acumulador de freno delantero	Apagar el motor y descargar los acumuladores.	1,350 - 1,450 9.3 - 10.0		
Acumulador de freno posterior		1,350 - 1,450 9.3 - 10.0		
Enciende luz de freno de servicio : BR	Aplicar suavemente con motor encendido	70 - 80 0.48 - 0.55		
Frenos de parqueo : PK2	Switch "ON" con motor encendido	0.00 - 0.00		
	Switch "OFF" con motor encendido	2,500 - 2,700 17.2 - 18.6		
	Switch "ON" u "OFF" con motor apagado	0.00 - 0.00		
Frenos de servicio delanteros : BF	Aplicado con motor encendido (después de 1 seg.)	2,400 - 2,600 16.5 - 17.9		
	Aplicado con motor encendido (después de 20 seg.)	2,400 - 2,600 16.5 - 17.9		
	Desaplicado con motor encendido	0.00 - 0.00		
	Cuando se activa el Automatic Apply ^(B)	1,675 - 1,825 11.5 - 12.5		
	Cuando se activa el Automatic Apply ^(C)	1,675 - 1,825 11.5 - 12.5		
Frenos de servicio posteriores : BR	Aplicado con motor encendido (después de 1 seg.)	1,625 - 1,775 11.2 - 12.2		
	Aplicado con motor encendido (después de 20 seg.)	1,625 - 1,775 11.2 - 12.2		
	Desaplicado con motor encendido	0.00 - 0.00		
	Cuando se activa el Automatic Apply ^(B)	1,625 - 1,775 11.2 - 12.2		
	Cuando se activa el Automatic Apply ^(C)	1,625 - 1,775 11.2 - 12.2		
Frenos de traba : BR	Switch "ON" con motor encendido	1,400 - 1,600 9.6 - 11.0		
	Switch "ON" con motor encendido ^(A)	900 - 1,100 6.2 - 7.5		
Baja presión de freno : LAP1	Después de 2 minutos ^(B)	2,100 mín 14.4 mín		
	Cuando ocurre la falla de Baja presión de freno ^(B)	1,775 - 1,925 12.2 - 13.2		
	Cuando ocurre la Automatic Apply ^(B)	1,550 - 1,750 10.6 - 12.0		
	Después de 2 minutos ^(C)	2,100 mín 14.4 mín		
	Cuando ocurre la falla de Baja presión de freno ^(C)	1,775 - 1,925 12.2 - 13.2		
	Cuando ocurre la Automatic Apply ^(C)	1,550 - 1,750 10.6 - 12.0		
Reaplicaciones	Aplicar suavemente el pedal de freno varias veces ^(D)			
Presión diferencial entre frenos	Frenos de servicio posteriores : BR ^(E)	550 - 650 3.8 - 4.5		
	Frenos de servicio delanteros : BF ^(E)	925 - 1,075 6.3 - 7.4		



(A) Desconecte el cable plomo del Brake Lock Solenoid (14) y conectarlo al Delay Timer (8) juntos. Aplicar el Brake Lock Switch (la alarma sonará) , aplicar el pedal de freno de servicio hasta que la alarma desaparezca y luego desajustar suavemente hasta que el sonido de alarma regrese.

(B) Arrancar el motor y medir la presión LAP1 (18) > 2,700 PSI , luego parar el motor y permitir que los acumuladores de dirección descarguen completamente. Deshabilitar el switch de presión de dirección del circuito de alarma de freno desenchufando el diodo entre los circuitos 33 y 33F , luego poner el Key Switch en "ON" y esperar 2 minutos.

Abrir la válvula de descarga del acumulador de freno delantero (16), y medir la presión en LAP1 (18) cuando se activen la luz y alarma de baja presión de freno.

Medir el valor de presión en LAP1 (18) cuando se empiece a elevar la presión de frenos (Automatic Apply) y cerrar la válvula de descarga del acumulador de freno delantero (16).

Medir también la presión en los frenos delanteros BF y posteriores BR.

(C) Arrancar el motor y medir la presión LAP1 (18) > 2,700 PSI , luego parar el motor y permitir que los acumuladores de dirección descarguen completamente, luego poner el Key Switch en "ON" y esperar 2 minutos.

Abrir la válvula de descarga del acumulador de freno posterior (17), y medir la presión en LAP1 (18) cuando se activen la luz y alarma de baja presión de freno.

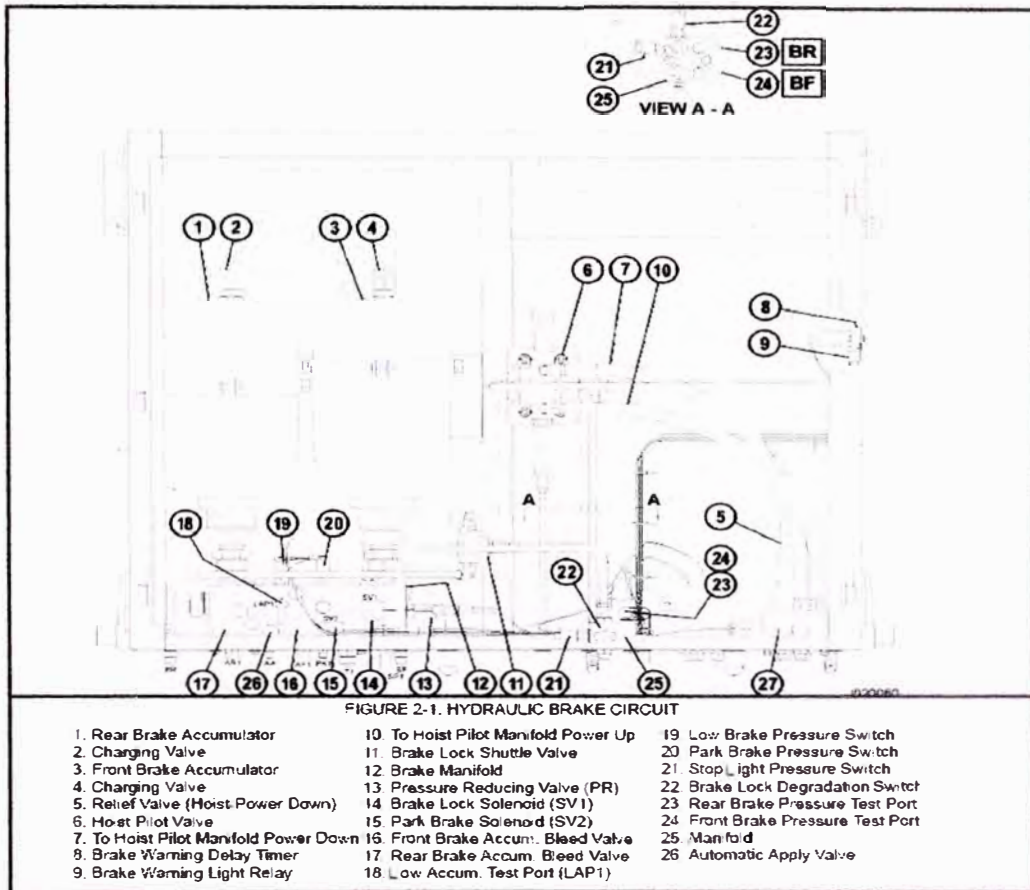
Medir el valor de presión en LAP1 (18) cuando se empiece a elevar la presión de frenos (Automatic Apply) y cerrar la válvula de descarga del acumulador de freno posterior (17).

Medir también la presión en los frenos delanteros BF y posteriores BR.

Finalmente habilitar el switch de presión de dirección del circuito de alarma de freno enchufando el diodo sacado entre los circuitos 33 y 33F.

(D) Arrancar el motor y medir la presión LAP1 (18) > 2,700 PSI , luego parar el motor y NO permitir que los acumuladores de dirección descarguen. Aplicar suavemente el pedal de freno varias veces hasta que se active el Automatic Apply.

(E) Abrir las válvulas de descarga de los acumuladores de freno delantero y posterior (16) y (17). Desconectar la manguera que suministra aceite del acumulador de freno delantero hacia el pedal de freno para el freno delantero y tapar la manguera. Arrancar el motor y medir la presión LAP1 (18) > 2,700 PSI, suavemente aplicar el pedal de freno hasta que se activen la luz y alarma de baja presión de freno. Para el otro freno apagar el motor y descargar las presiones antes de hacer el cambio.



OBSERVACIONES :

Anexo J

PM Clinic Sistema de dirección y levante 730E

Equipo :

Horómetro :

Fecha :

Motivo :

SISTEMA DE DIRECCION Y LEVANTE				
Presión a medir	Condición de medida	Valor estándar PSI Mpa	Valor medido PSI Mpa	Estado
Acumulador delantero	Apagar el motor y esperar 90 segundos ^(A)	1,350 - 1,450 9.3 - 10.0		
Acumulador posterior		1,350 - 1,450 9.3 - 10.0		
Tiempo de descarga de acumuladores de dirección	Apagar el motor	90 seg.		
Presión de acumuladores después de 90 seg.	Apagar el motor y esperar 90 segundos ^(B)	0.00		
Presión inmediatamente después de encender el motor	Arrancar el motor ^(B)	1,400 9.6		
Presión después de un momento de encender el motor	Motor en baja velocidad en vacío ^(B)	2,950 20.3		
Presión de alivio de la dirección ^(C)	Girar la volante completamente a la derecha	2,500 17.2		
	Girar la volante completamente a la izquierda	2,500 17.2		
Tiempo de ciclo de actuación de la válvula descargadora ^(D)	Motor en baja velocidad en vacío	> 2 minutos		
Presión después de la descarga de la bomba de dirección ^(E)	Motor en baja velocidad en vacío	75 0.52		
Presión de alivio de levante de tolva ^(F)		2,400 - 2,600 16.5 - 17.9		
Presión de alivio de bajada de tolva ^(G)		1,425 - 1,575 9.8 - 10.8		
Presión de la válvula contrabalace ^(H)	Presión en la tercera etapa del vástago	3,000 20.7		

(A) Apagar el motor y esperar como mínimo 90 segundos para que los acumuladores de dirección descarguen la presión hidráulica, medir con un manómetro la presión de nitrógeno en la parte superior de cada acumulador.

(B) Medir la presión en el puerto de prueba de la válvula bleed down.

(C) Girar completamente hacia un extremo la volante de la dirección y medir la presión en los puertos de prueba de la válvula de distribución localizada debajo del motor. Cuando se gira a la izquierda : presión en el puerto superior (cilindro derecho) y cuando se gira a la derecha : presión en el puerto inferior (cilindro izquierdo).

(D) Con el motor en baja velocidad en vacío y sin girar la dirección observar la presión en el puerto de prueba de la válvula bleed down, cuando alcanza 2,950 PSI es el inicio del ciclo (actuación de la válvula descargadora y alimentación hacia el circuito de levante) y cuando llega a 2,500 PSI es el fin del ciclo (desactuación de la válvula descargadora y alimentación hacia el circuito de dirección).

(E) Medir la presión en el puerto de presión del filtro de levante cuando los acumuladores hayan cargado y cuando la bomba de dirección esté descargada.

(F) Desconectar el solenoide de límite de levante de tolva y medir la presión en el puerto de presión del filtro de levante cuando la tolva esté completamente levantada.

(G) Con la tolva abajo y con el motor en baja velocidad en vacío colocar la palanca en la posición de descenso de tolva medir la presión en el puerto de presión del filtro de levante.

(H) Con el motor en baja velocidad en vacío levantar la tolva hasta la tercera etapa de los cilindros de levante y observar la presión en el puerto TR del múltiple central. Si la presión es menor a 3,000 PSI incrementar la velocidad del motor en 300 RPM y observar la presión. Si la presión es todavía menor a 3,000 PSI seguir incrementando la velocidad del motor en 300 RPM hasta la máxima velocidad en vacío.

OBSERVACIONES :

Anexo K

Factores K1 y K2 para el cálculo del TKPH

NEUMÁTICOS PARA MAQUINAS DE TRANSPORTE COEFICIENTES K CALCULADOS



Coeficiente K 1 calculado

L (km)	L (ml)	K 1	L (km)	L (ml)	K 1	L (km)	L (ml)	K 1	L (km)	L (ml)	K 1	L (km)	L (ml)	K 1
			11	6.8	1.13	21	13	1.19	31	19.3	1.21	41	25.5	1.23
			12	7.4	1.14	22	13.7	1.19	32	19.9	1.21	42	26.1	1.23
			13	8	1.15	23	14.3	1.20	33	20.5	1.22	43	26.7	1.23
			14	8.7	1.16	24	14.9	1.20	34	21.1	1.22	44	27.3	1.23
5	3.1	1.00	15	9.3	1.16	25	15.5	1.20	35	21.7	1.22	45	28	1.23
6	3.7	1.04	16	9.9	1.17	26	16.2	1.20	36	22.4	1.22	46	28.6	1.23
7	4.3	1.06	17	10.6	1.17	27	16.8	1.21	37	23	1.22	47	29.2	1.23
8	5	1.09	18	11.2	1.18	28	17.4	1.21	38	23.6	1.22	48	29.8	1.23
9	5.6	1.10	19	11.8	1.18	29	18	1.21	39	24.2	1.22	49	30.4	1.23
10	6.2	1.12	20	12.4	1.19	30	18.6	1.21	40	25	1.22	50	31	1.23

L = Longitud del ciclo en kilómetros y en millas.

Coeficiente K 2 calculado

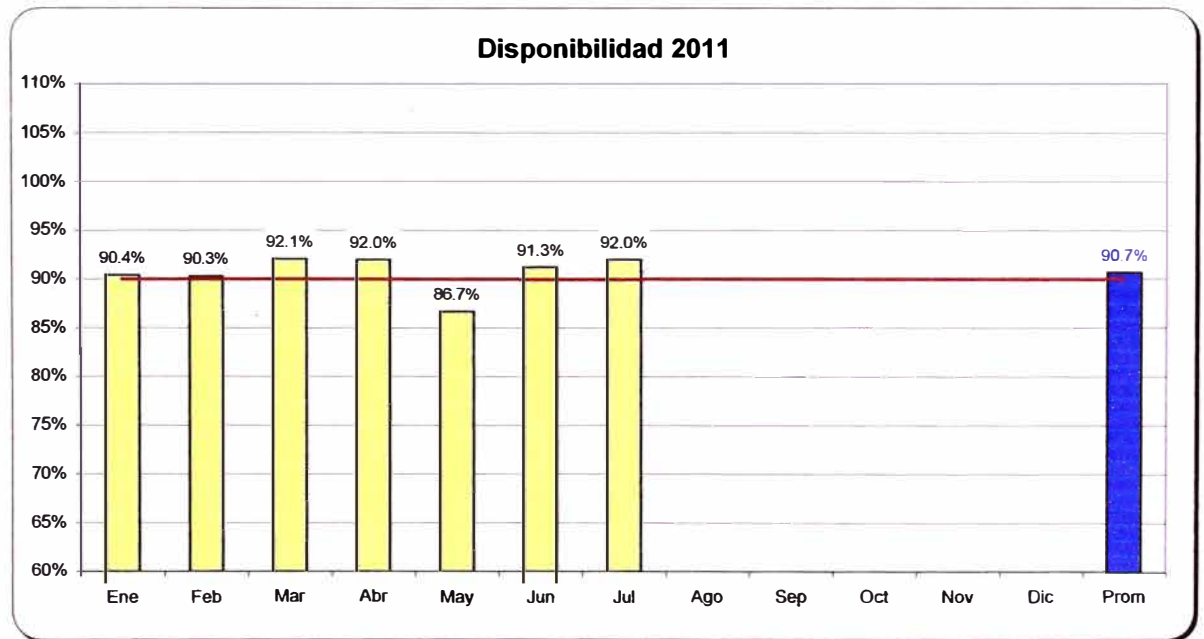
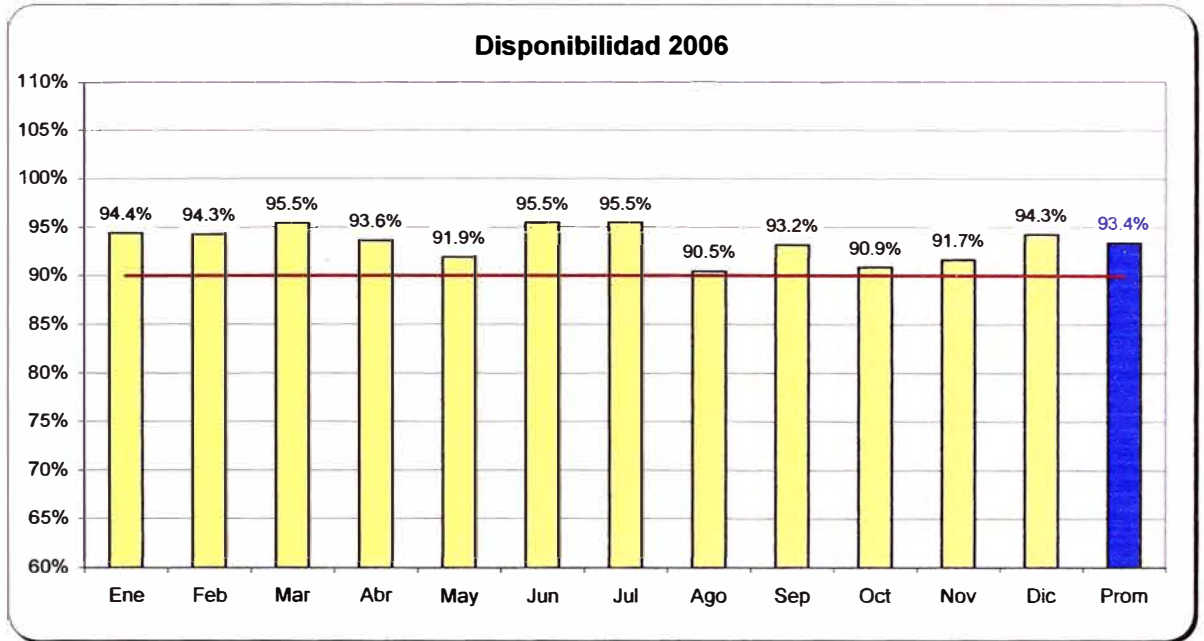
Vm km (millas)	Temperatura ambiente													
	<15 °C	15 °C	17.5 °C	20 °C	22.5 °C	25 °C	27.5 °C	30 °C	32.5 °C	35 °C	37.5 °C	40 °C	42.5 °C	45 °C
	<59 °F	59 °F	63.5 °F	68 °F	72.5 °F	77 °F	81.5 °F	86 °F	90.5 °F	95 °F	99.5 °F	104 °F	108.5 °F	113 °F
10 (6)	0.400	0.425	0.488	0.550	0.613	0.675	0.738	0.800	0.863	0.925	0.988	1.050	1.113	1.175
12 (7)	0.500	0.521	0.573	0.625	0.677	0.729	0.781	0.833	0.885	0.938	0.990	1.042	1.094	1.148
14 (9)	0.571	0.589	0.634	0.679	0.723	0.766	0.813	0.857	0.902	0.946	0.991	1.036	1.080	1.125
16 (10)	0.625	0.641	0.680	0.719	0.758	0.797	0.836	0.875	0.914	0.953	0.992	1.031	1.070	1.109
18 (11)	0.666	0.681	0.715	0.750	0.785	0.819	0.854	0.889	0.924	0.958	0.993	1.028	1.063	1.097
20 (12.5)	0.700	0.713	0.744	0.775	0.806	0.838	0.869	0.900	0.931	0.963	0.994	1.025	1.056	1.088
22 (14)	0.727	0.739	0.767	0.795	0.824	0.852	0.881	0.909	0.938	0.966	0.994	1.023	1.051	1.080
24 (15)	0.750	0.760	0.786	0.813	0.839	0.865	0.891	0.917	0.943	0.969	0.995	1.021	1.047	1.073
26 (16)	0.769	0.779	0.803	0.827	0.851	0.875	0.899	0.923	0.947	0.971	0.995	1.019	1.043	1.067
28 (17)	0.785	0.795	0.817	0.839	0.862	0.884	0.906	0.929	0.951	0.973	0.996	1.018	1.040	1.063
30 (19)	0.800	0.808	0.829	0.850	0.871	0.892	0.913	0.933	0.954	0.975	0.996	1.017	1.038	1.058
32 (20)	0.812	0.820	0.840	0.859	0.879	0.898	0.918	0.938	0.957	0.977	0.996	1.016	1.035	1.055
34 (21)	0.823	0.831	0.849	0.868	0.886	0.904	0.923	0.941	0.960	0.978	0.996	1.015	1.033	1.051
36 (22)	0.833	0.840	0.858	0.875	0.892	0.910	0.927	0.944	0.962	0.979	0.997	1.014	1.031	1.049
38 (24)	0.842	0.849	0.865	0.882	0.898	0.914	0.931	0.947	0.964	0.980	0.997	1.013	1.030	1.046
40 (25)	0.850	0.856	0.872	0.888	0.903	0.919	0.934	0.950	0.966	0.981	0.997	1.013	1.028	1.044
42 (26)	0.857	0.863	0.878	0.893	0.908	0.923	0.938	0.952	0.967	0.982	0.997	1.012	1.027	1.042
44 (27)	0.864	0.869	0.884	0.898	0.912	0.926	0.940	0.955	0.969	0.983	0.997	1.011	1.026	1.040
46 (28)	0.869	0.875	0.889	0.902	0.916	0.929	0.943	0.957	0.970	0.984	0.997	1.011	1.024	1.038
48 (29)	0.875	0.880	0.893	0.906	0.919	0.932	0.945	0.958	0.971	0.984	0.997	1.010	1.023	1.036
50 (31)	0.880	0.885	0.898	0.910	0.923	0.935	0.948	0.960	0.973	0.985	0.998	1.010	1.023	1.035

Vm = velocidad media per hora de um ciclo en kilómetros (o en millas)

Se permite le interpolación entre la temperatura mostrada en los encabezamientos de columna

Anexo L

Comparación de disponibilidades, año 2006 vs. 2011



Anexo M

Actividades del Mantenimiento Predictivo



Nº	Actividad	Frecuencia
1	Descarga y análisis de información CENSE.	Cada 125 horas.
2	Descarga y análisis de información STATEX III.	Cada 125 horas.
3	Descarga y análisis de información PLM III.	Cada 125 horas.
4	Inspeccionar el estado de los contactores de propulsión y retardo.	Cada 125 horas.
5	Análisis de aceite de motor diesel.	Cada 250 horas.
6	Análisis de aceite del sistema hidráulico.	Cada 250 horas.
7	Análisis de aceite de la rueda delantera.	Cada 250 horas.
8	Análisis de aceite de motor de tracción.	Cada 250 horas.
9	Reporte operacional con el STATEX III.	Mensual.
10	Reporte de cargas con el PLM III.	Mensual.
11	Inspección de tolva.	Cada 1,500 horas.
12	PM CLINIC MOTOR DIESEL.	Cada 2,000 horas.
13	PM CLINIC SISTEMA DE DIRECCION Y LEVANTE.	Cada 2,000 horas.
14	PM CLINIC SISTEMA DE FRENOS.	Cada 2,000 horas.
15	Medición de juego axial y radial de los turbos.	Cada 2,000 horas.
16	Medición de juego axial y backlash de engranajes planetarios.	Cada 2,500 horas.
17	Inspección de chasis y pin central.	Cada 2,500 horas.
18	Calibraciones con el PLM III.	Cada vez que se cambie tolva o algún cilindro de suspensión.

Nota :

Los PM's se realizan en un intervalo de 250 horas de trabajo.

Las inspecciones se realizan a las 125 horas después de realizado en PM.