

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA



**ELABORACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE
INSPECCIÓN VISUAL PARA UNA FLOTA DE CAMIONES
MINEROS MARCA CATERPILLAR DE 250 TON DE
CARGA MODELO 793F - PROYECTO MINERO ANTAMINA**

INFORME DE SUFICIENCIA

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECÁNICO**

HANS ARNOLD GUILLERMO SOTOMAYOR

PROMOCIÓN 2009 - I

LIMA-PERÚ

2013

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a mis padres Felix y Betsy por la educación y el apoyo que me brindaron en el logro de mis objetivos personales y profesionales.

ÍNDICE

PRÓLOGO	01
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	02
1.1 Antecedentes.	02
1.2 Identificación del problema.	03
1.3 Objetivo.	03
1.4 Justificación.	03
1.5 Alcance.	04
CAPÍTULO II: CONCEPTOS PRELIMINARES	05
2.1 Clasificación de camiones mineros caterpillar.	05
2.2 Camiones mineros Caterpillar modelo 793F.	06
2.2.1 Características y beneficios.	07
2.2.1.1 Motor C175.	08
2.2.1.2 Sistema de Transmisión.	10
2.2.1.3 Sistema de freno.	11
2.2.1.4 Sistema de monitoreo.	12
2.2.1.5 Cabina.	13
2.2.1.6 Tren de potencia.	15
2.2.1.7 Mandos finales.	15
2.2.1.8 Retardador Adicional.	15
2.2.1.9 Especificaciones generales.	16

2.3	Inspección visual.	16
2.3.1	Clasificación de la inspección visual.	17
2.3.1.1	Inspección visual directa.	17
2.3.1.2	Inspección visual remota	17
2.3.2	Equipos/Tecnologías empleadas.	18
2.3.2.1	Herramientas para la inspección visual directa.	18
2.3.2.2	Herramientas para la inspección visual remota.	18
CAPÍTULO III: IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA		20
3.1	Generalidades.	20
3.2	Paradas no programadas.	22
3.2.1	Causales de paradas no programadas	24
3.2.2	Reparaciones programadas	26
CAPÍTULO IV: PLAN DE INSPECCION VISUAL		27
4.1	Mecanismos de falla y los tipos de daño que produce.	27
4.1.1	Fugas de Aceite.	28
4.1.2	Fuga de Refrigerante	29
4.1.3	Rotura o Ausencia de Pernos	30
4.1.4	Fuga de Gases de Escape.	33
4.1.5	Ausencia de Grasa.	34
4.1.6	Fisuras	35
4.1.7	Desgaste	36
4.1.8	Fuga de Combustible	37
4.2	Puntos a inspeccionar.	37
4.3	Técnica de Inspección.	43

4.3.1	Formatos de Inspección.	43
4.3.2	Personal involucrado en las inspecciones.	55
4.3.3	Procedimientos de Inspección.	55
4.4	Frecuencia de Inspecciones.	58
4.4.1	Inspecciones durante el PM	58
4.4.2	Inspecciones entre PMs	59
4.4.3	Inspecciones Diarias	59
4.5	Seguimiento del plan de Inspección Visual.	60
CAPÍTULO V: EVALUACION ECONOMICA		65
5.1	Costos de Implementación.	65
5.1.1	Costo de Inversión.	66
5.1.1.1	Costo de Capacitación.	66
5.1.1.2	Costo de Herramientas.	69
5.1.2	Costo de Mano de Obra Directa	70
5.1.2.1	Costo de Jornada Laboral Mensual.	71
5.1.2.2	Costo mensual de estadía en mina.	71
5.2	Beneficios de la Implementación.	72
5.2.1	Venta de repuestos.	72
5.2.2	Análisis de Indicadores.	73
5.2.2.1	TIR (Taza interna de retorno)	74
5.2.2.2	VAN (Valor actual neto).	74
5.2.2.3	Rentabilidad.	75
5.2.2.4	Tiempo de retorno de la inversión.	76
5.2.3	Disminución de las frecuencia de paradas no programadas.	76
CONCLUSIONES		78

RECOMENDACIONES	79
BIBLIOGRAFIA	80
ANEXOS	

PROLOGO

El presente informe muestra la implementación de un plan de inspección visual de una flota de camiones mineros el cual brinda los criterios necesarios para llevarlo a cabo correctamente.

En el **Capítulo I** se presenta los antecedentes, identificación del problema, objetivos, justificación y alcance.

En el **Capítulo II** se detalla los conceptos preliminares de los camiones mineros modelo 793F a través de la descripción de sus componentes, así como también se detalla los conceptos preliminares de una inspecciones visual.

En el **Capítulo III** se identifica y plantea el problema de las inspecciones visuales en una flota de camiones mineros.

En el **Capítulo IV** se plantea la elaboración del plan de inspección, los procedimientos y las herramientas necesarias para su implementación.

Finalmente se presentan las conclusiones, recomendaciones, bibliografía y los anexos que derivan del presente informe.

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1. ANTECEDENTES

El proyecto Antamina es un complejo minero polimetálico que produce concentrados de cobre, zinc, molibdeno, y como subproductos concentrados plata y plomo, esta mina esta ubicada en el distrito de San Marcos, en la Región Ancash, a 200 km. de la ciudad de Huaraz y a una altitud promedio de 4,300 metros sobre el nivel del mar.

En noviembre del 2008 se anunció el incremento de 77% de las reservas minerales de la empresa, las mismas que fueron sometidas a un estudio de factibilidad culminado en el 2009 el cual permitió evaluar las opciones de expansión. Luego de recibir la autorización de los accionistas y los permisos del Ministerio de Energía y Minas, se anunció oficialmente el 5 de enero de 2010 una inversión de 1,288 millones de dólares para ampliar nuestras instalaciones mineras y la capacidad de procesamiento de mineral. Así se dio inicio oficial al Programa de Expansión de Antamina.

El proceso de expansión vino de la mano con la compra de la compañía minera Antamina a la empresa Ferreyros S.A de 18 camiones mineros Caterpillar modelo 793F.

1.2. IDENTIFICACION DEL PROBLEMA

Con la compra de los camiones mineros caterpillar modelo 793F por parte de la compañía minera Antamina; la empresa Ferreyros S.A., distribuidor oficial de la marca Caterpillar en el Perú, se comprometió a mantener en estos equipos una disponibilidad mensual desde el inicio de operación del 88%, sin embargo cuando empezaron a rodar estos camiones empezaron a presentar muchas fallas las cuales no eran identificadas y ocasionaban largas paradas, paradas que afectaban grandemente dicha disponibilidad y cuestionaban nuestro respaldo en el mantenimiento de estos.

Muchas de estas fallas que se presentaron pudieron haber sido evitadas a través de una correcta inspección visual, por ello era necesario implementar un plan de inspección visual el cual nos permita identificar los mecanismos de falla en un equipo aprovechando al máximo los recursos disponibles.

1.3. OBJETIVO

Elaborar e implementar un plan de inspección visual de una flota de camiones mineros marca Caterpillar de 250 Ton de carga modelo 793F para reducir la frecuencia de paradas imprevistas.

1.4. JUSTIFICACION

Observándose que los equipos presentaban fallas que generaban paradas en campo principalmente por tema de fugas, el área de planeamiento central encargo al área de monitoreo elaborar un plan de inspección visual el cual permita detectar problemas con anticipación y solucionarlos a través de

reparaciones programadas las cuales nos permitan mejorar la disponibilidad de los equipos y reducir la frecuencia de paradas no programadas.

1.5. ALCANCE

Este informe comprende a la flota de camiones 793F marca Caterpillar que se encuentran en el proyecto minero Antamina, los cuales son 18 camiones los que fueron vendidos a la compañía minera Antamina y 5 camiones make up o de respaldo otorgados por Ferreyros. Los 18 camiones están identificados con la numeración HT057, HT058 y así sucesivamente hasta la numeración HT074; mientras que los camiones make up están asignados con la numeración HT056, HT075, HT076, HT077 y HT078.

CAPITULO II

CONCEPTOS PRELIMINARES

2.1. CLASIFICACION DE CAMIONES MINEROS CATERPILLAR

Podemos mencionar la diversidad de modelos de los camiones mineros que ofrece la empresa Ferreyros a sus clientes y clasificarlos de acuerdo a su capacidad de carga. A continuación se muestra una tabla donde se indica la carga nominal de cada camión minero.

MODELO	CAPACIDAD DE CARGA NOMINAL(Ton)
777F	100
785C	150
785D	150
789D	200
793C	218
793D	218
793F	250

Figura N° 01 – Modelos de camiones mineros y sus capacidades de carga.

Las letras que son usadas al nombrar el modelo de un equipo nos indica que este equipo posee mejoras en diferentes aspectos con respecto a su antecesor (un equipo cuyo modelo posee una letra anterior). Estos aspectos son: la seguridad, la productividad, la facilidad de servicio y el confort.

Conociendo esto, la compañía minera Antamina opto por la compra del camión con mayor capacidad de carga y el modelo mas reciente, siendo este el 793F.

2.2. CAMIONES MINEROS CATERPILLAR MODELO 793F

Los camiones Cat para minería han evolucionado continuamente desde su concepción. Los requisitos de los clientes y los avances tecnológicos han impulsado este desarrollo. Aquí algunas características de estos camiones:

- Estos camiones están diseñados para proporcionar comodidad al operador, capacidades de control superiores y alta productividad, los camiones para minería Cat mantienen altos volúmenes de movimiento de material a los costos más bajos por tonelada.
- Las cajas de camión Cat están diseñadas para proporcionar resistencia, capacidad y durabilidad óptimas.
- El fácil acceso a los puntos de servicio diarios simplifica el servicio y reduce el tiempo empleado en los procedimientos de mantenimiento regular.
- Los camiones para minería Cat cumplen o exceden las regulaciones de seguridad y no ocasionan daños al medio ambiente.

Ahora bien la reducción continua del costo de operación es esencial para ser competitivo en minería, construcción y en la mayoría de los demás negocios, es por ello que Caterpillar se ve en la necesidad de lanzar un nuevo modelo de camiones mineros, el 793F, reemplazando este al 793D. En la figura siguiente se observa una foto tomada a este camión.



Figura N° 02 - Camión minero modelo 793F.

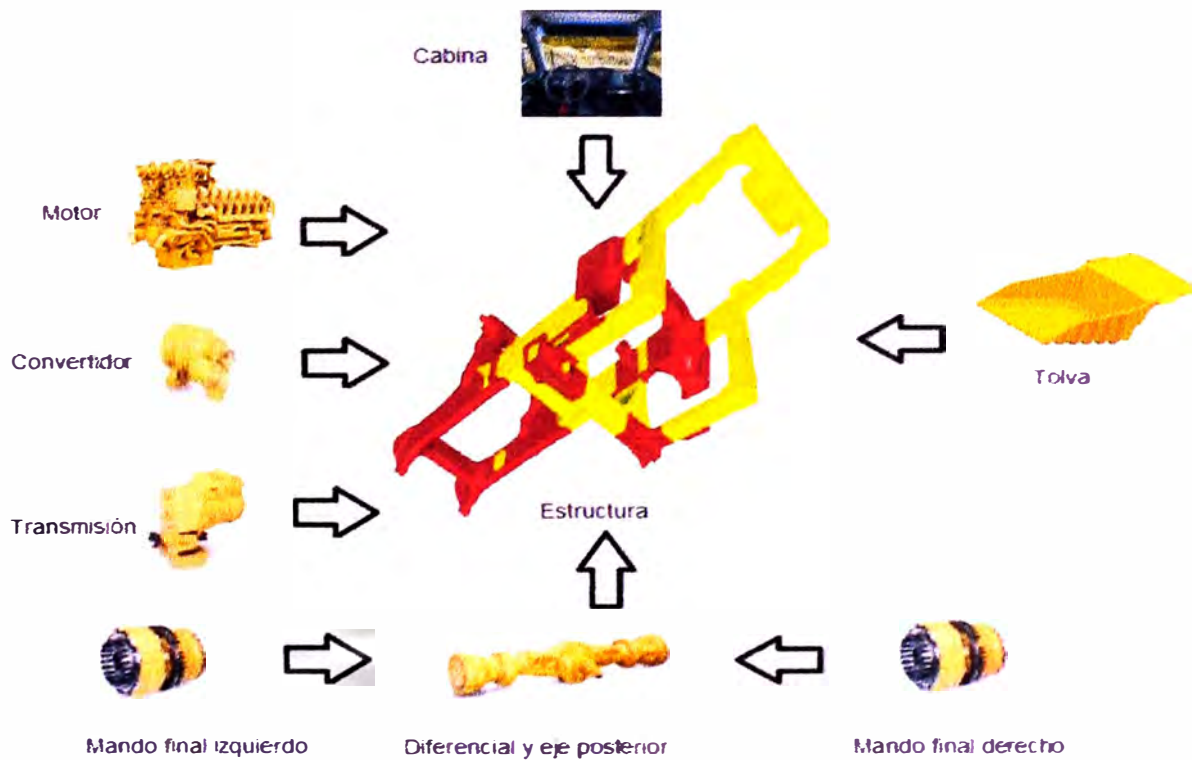


Figura N° 03 – Despiece del camión minero modelo 793F.

2.2.1 Características y beneficios

Sus características y beneficios frente a su antecesor son los siguientes:

2.2.1.1 Motor C175

El motor C175 de 16 cilindros reemplaza el motor actual Serie 3516B que fue usado en el 793D.

Las funciones clave del motor C175 son:

Sistema de combustible con riel común de alta presión.

Un Posenfriador de Aire a Aire (ATAAC)

Más caballos de fuerza

Un solo árbol de levas de dos piezas

Bombas Inyectoras Electrónicas (EUI).

El C175 es un motor métrico. Algunos componentes pesan más, como la culata, que pesa aproximadamente 50 por ciento más que el 3500 y requiere un dispositivo de levantamiento.

Se debe tener cuidado cuando se trabaja en o alrededor del sistema de combustible de alta presión ya que la presión puede llegar hasta 180 Mpa (25,100 psi).

Es esencial que se mantenga la limpieza durante el servicio ya que el sistema de combustible tiene poca tolerancia a las partículas contaminantes en comparación con los productos 3500/3600. A continuación observamos una imagen perteneciente al motor C175.

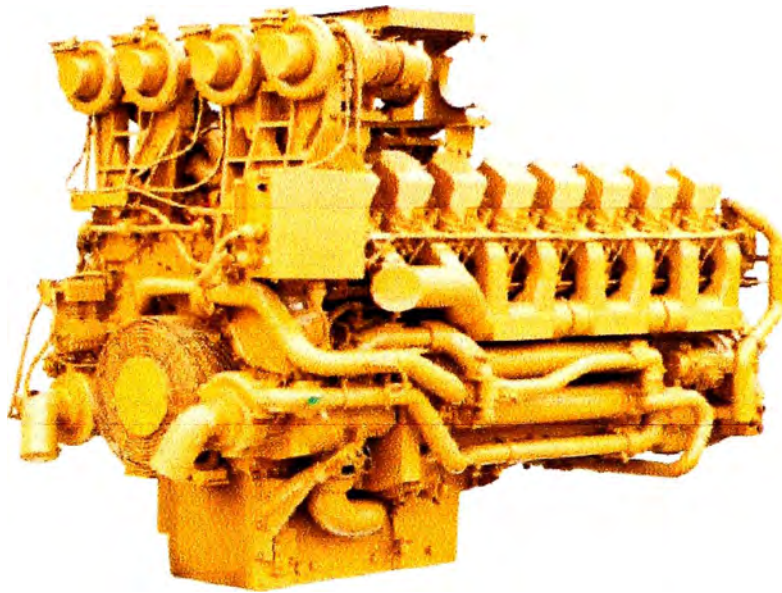


Figura N° 04 – Motor C175

Las especificaciones técnicas del motor son las siguientes:

Potencia bruta SAE J1995: 2650 hp.

Potencia neta SAE J1349: 2478 hp.

Reserva de par: 20%.

Calibre: 6.9 in.

Carrera: 8.7 in.

Cilindrada: 5187 in³

A continuación se muestra las curvas características del motor obtenidas bajo las siguientes condiciones: una temperatura de combustible de 40 °C, una temperatura ambiente de 25 °C y una presión atmosférica de 1bar.

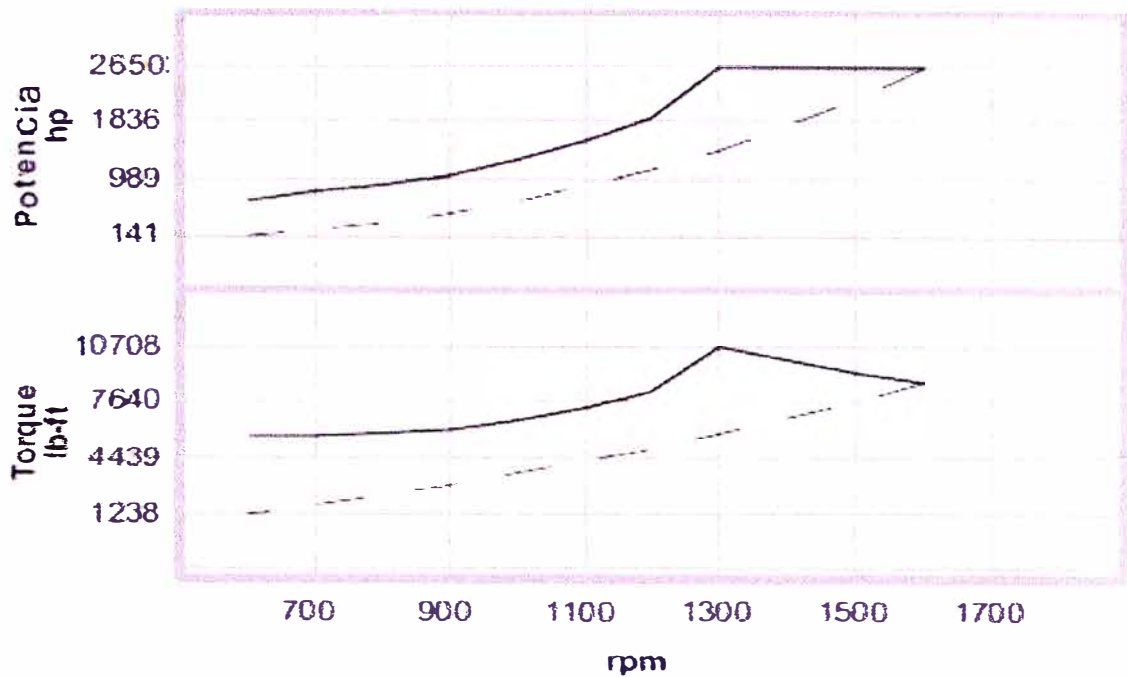


Figura N° 05 – Curva de potencia vs rpm y torque vs rpm.

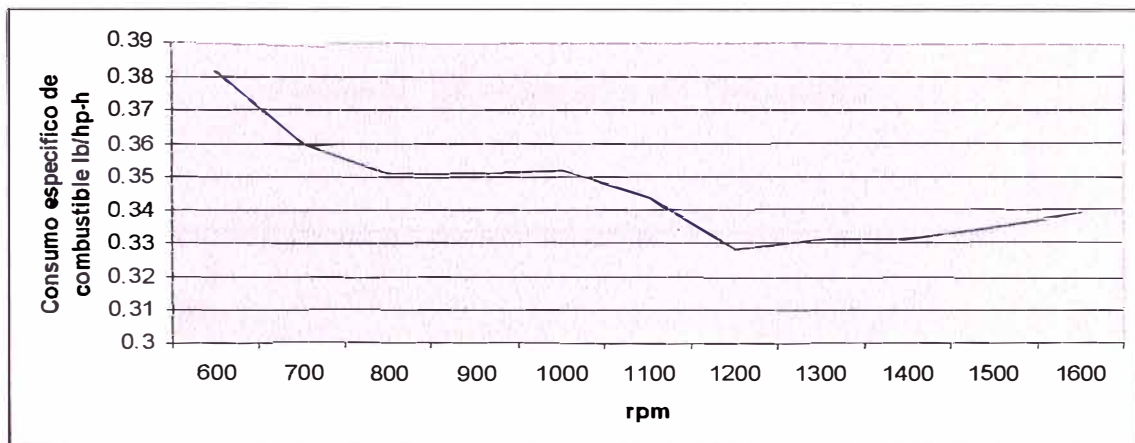


Figura N° 06 – Curva de consumo específico de combustible vs rpm.

2.2.1.2 Sistema de Transmisión

La transmisión para el camión Serie "F" ha cambiado desde una transmisión de Modulación del Embrague Individual (ICM) en la serie "D" a una transmisión del Control de Presión del Embrague Electrónico (ECPC). La transmisión ECPC modula el enlace del embrague de manera individual,

permitiendo la velocidad más suave y cambios direccionales. También posee un diseño planetario del cambio de posición de la potencia el cual contiene seis embragues enganchados de manera hidráulica. La transmisión proporciona seis velocidades de AVANZAR y una velocidad de REVERSA. En la siguiente figura se observa un esquema de la transmisión.

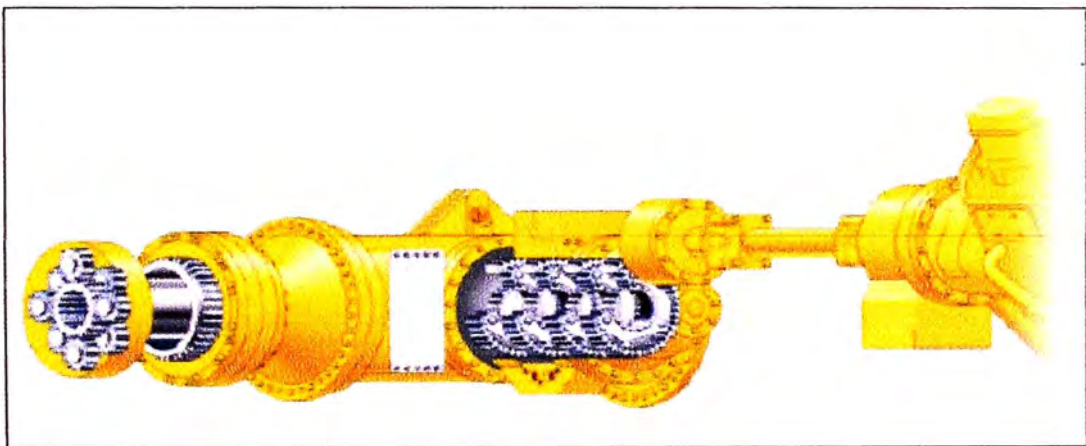


Figura N° 07 – Sistema de Transmisión

Las especificaciones técnicas de la transmisión son las siguientes:

Avance 1: 8mph.

Avance 2: 10.8mph.

Avance 3: 14.8 mph.

Avance 4: 19.9 mph.

Avance 5: 27.1 mph.

Avance 6: 37.3 mph.

Retroceso: 7.3 mph.

2.2.1.3 Sistema de freno

El freno de servicio y los frenos de estacionamiento son controlados de manera hidráulica.

El sistema de aire para los frenos ha sido removido. El sistema hidráulico está equipado con una nueva válvula de control de freno/chasis y freno de estacionamiento (secundario), control de retardo automático (ARC) y acumulador.

2.2.1.4 Sistema de monitoreo

El sistema de monitoreo tendrá un cambio completo del VIMS (Sistema de Administración de Información Vital) al VIMS TM 3G con Consejero conocido como Advisor. El VIMS 3G será un mensajero de cada uno de los ECMS individuales en el camión. También, en los equipos de producción, el VIMS con el Advisor estarán equipados con una señal inteligente opcional y un radio CANip.

El Advisor es un sistema mediante el cual a través de una pantalla nos muestra datos del rendimiento de la maquina en tiempo real y datos básicos del viaje, mantenimiento y diagnostico.

En la siguiente figura se observa la pantalla del Advisor.

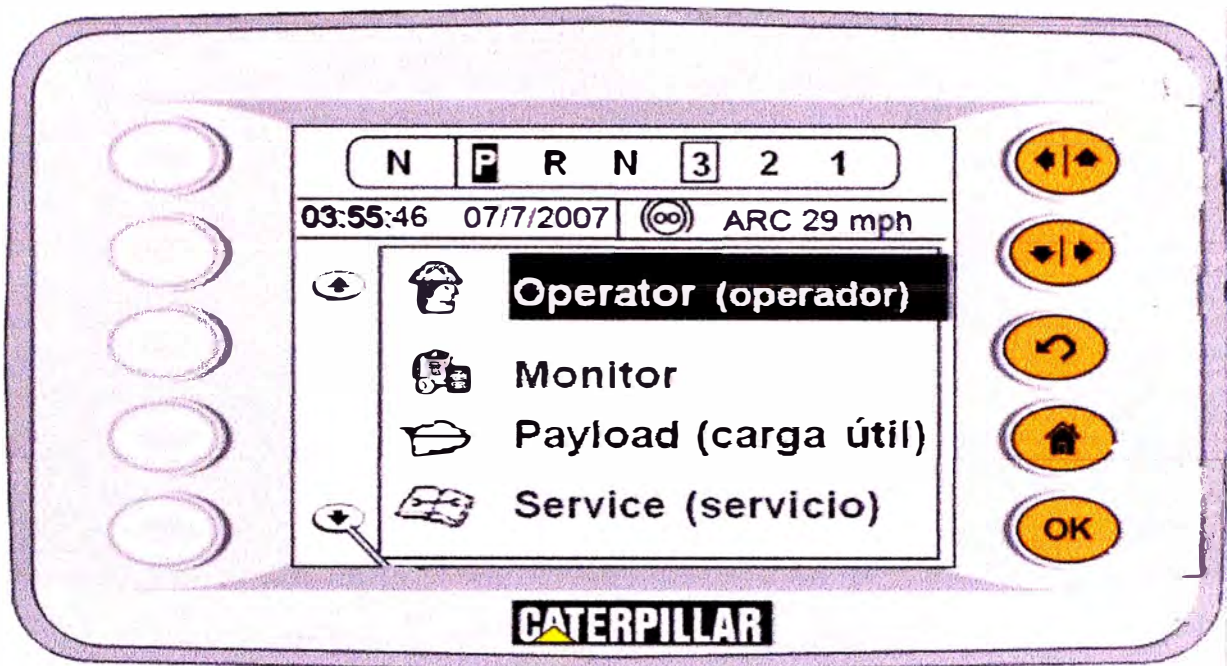


Figura N° 08 – Pantalla del Advisor (Consejero)

2.2.1.5 Cabina

El camión 793F estará equipado con una nueva cabina. Los cambios de la cabina incluyen mejoras hechas para la comodidad del operador y un acceso mejorado para el técnico. La cabina además tiene más movimiento de aire en el interior, con boquillas adicionales para aumentar el flujo de aire.



Figura N° 09 – Cabina del operador

En la figura anterior se muestra la cabina del operador, donde:

1. Asiento del operador.
2. Palanca del dispositivo de levantamiento.
3. Pedal del freno secundario.
4. Sistema monitor.
5. Columna de dirección.
6. Consola de la transmisión.
7. Medidores.
8. Compartimientos de almacenamiento.
9. Asiento del acompañante.
10. Ventana del operador.
11. Controles operador.
12. Calefacción/Aire acondicionado.
13. Estructura de cabina de cuatro postes.
14. Monitor del sistema de cámaras.

15. Monitor de GPS.

16. Posavasos.

17. Luces interiores del techo.

2.2.1.6 Tren de potencia

El 793F tiene dos opciones diferentes disponibles para hacer juego con la aplicación y condiciones específicas. Todas las configuraciones entregadas incrementan la velocidad en pendiente con un 10 por ciento más de potencia en los neumáticos que los 793D, el 793F reduce los tiempos de ciclos y menores costos por tonelada.

2.2.1.7 Mandos finales

Posee los mandos finales de vida extendida, estos mandos han sido desarrollados para aplicaciones de acarreo ascendente, para extender la vida de los mandos finales. Los mandos finales de vida extendida fueron hechos con componentes más grandes, más durables, incluyendo ejes más grandes, rodamientos más grandes, una superficie más grande de frenado y discos adicionales en el freno para aumentar los intervalos de reparación.

2.2.1.8 Retardador Adicional

La configuración del retardador adicional fue desarrollada para aplicaciones de bajando cargado, y típicamente entrega una marcha adicional de retardo o aumento del 25 por ciento más de velocidad en pendiente bajando. El retardador adicional es alcanzado agregando frenos más grandes y

capacidad de enfriamiento adicional. La configuración del retardador adicional requiere la opción de mandos finales de vida extendida.

2.2.1.9 Especificaciones generales

Las especificaciones generales del equipo son:

El prefijo del número de serie cambio de FDB a SSP.

La capacidad de carga acarreada mantenida desde 218 toneladas métricas (240 toneladas) a 226.8 toneladas métricas (250 toneladas).

Esta variable depende de los anexos.

Peso Bruto del Equipo (GMW) desde 383,739 kg (846,000 lbs.) a 386,007- 390,089 kg (851,000-860,000 lbs.).

Ancho desde 7.4 m(23.3 pies) a 7.62 m(25 pies).

Largo desde 12.9 m (42.2 pies) a 13.7 m (44.9 pies).

Altura desde 6.4 m (21 pies) a 6.5 metros (21.3 pies).

Altura con la Tolva Arriba desde 13.2 m (43.3 pies) a 13.88m (45.5 pies).

Velocidad máxima respecto a la tierra desde 54.2km/h (33.7 mph) a 60 km/h (37.3 mph).

2.3 INSPECCION VISUAL

La inspección visual es la técnica de inspección más antigua y también la más usada por su versatilidad y su bajo costo.

En ella se emplea como instrumento principal, el ojo humano, el cual es complementado frecuentemente con instrumentos de magnificación, iluminación y medición.

En trabajos como este se requiere de un gran entrenamiento para realizar una inspección visual correcta, pero los resultados dependerán en buena parte de la experiencia del inspector, y de los conocimientos que éste tenga respecto a la operación, los materiales y demás aspectos influyentes en los mecanismos de falla que el objeto pueda presentar.

2.3.1 Clasificación de la inspección visual

Según los instrumentos que se utilicen como ayuda a la visión, y la distancia (o el acceso) que se tenga entre el inspector y el objeto de estudio, la Inspección Visual se puede dividir en dos grupos:

2.3.1.1 Inspección visual directa.

La inspección visual se hace a una distancia corta del objeto, aprovechando al máximo la capacidad visual natural del inspector. Se usan lentes de aumento, microscopios, lámparas o linternas, y con frecuencia se emplean instrumentos de medición como calibradores, micrómetros y galgas para medir y clasificar las condiciones encontradas.

2.3.1.2 Inspección visual remota.

La inspección visual remota se utiliza en aquellos casos en que no se tiene acceso directo a los componentes a inspeccionar, o en aquellos componentes

en los cuales, por su diseño, es muy difícil ganar acceso a sus cavidades internas.

2.3.2 Equipos/Tecnologías empleadas

2.3.2.1 Herramientas para la inspección visual directa

EQUIPOS DE ILUMINACIÓN: Linterna halógena, lámparas portátiles.

EQUIPOS DE VISIÓN: Espejos articulados, lentes de aumento.

EQUIPOS DE MEDIDA: Reglas, winchas.

2.3.2.2 Herramientas para la inspección visual remota:

EQUIPOS DE VISION: Boroscopios.

Los boroscopios son instrumentos con los cuales, mediante una sonda adaptada a una cámara digital, se puede llegar a la mayoría de las cavidades internas y lugares inaccesibles para el inspector.

Disponen de una fuente de iluminación que funciona por fibra óptica, lo cual asegura una correcta iluminación de toda la zona a inspeccionar incluso cuando se produce una rotación o giro de la cabeza del baroscopio. A continuación se muestra la imagen de un boroscopio usado en la inspección de la culata de un motor.



Figura N° 10 – Boroscopio

CAPITULO III

IDENTIFICACION DEL PROBLEMA

3.1. GENERALIDADES

Con la venta de los 18 camiones mineros Caterpillar modelo 793F a la empresa minera Antamina, Ferreyros se comprometía a mantener a los camiones con una disponibilidad mensual del 88% desde el inicio de operación, la cual no se estaba cumpliendo.

En el siguiente gráfico se observa como se encontraba la disponibilidad en el transcurso del año 2011.

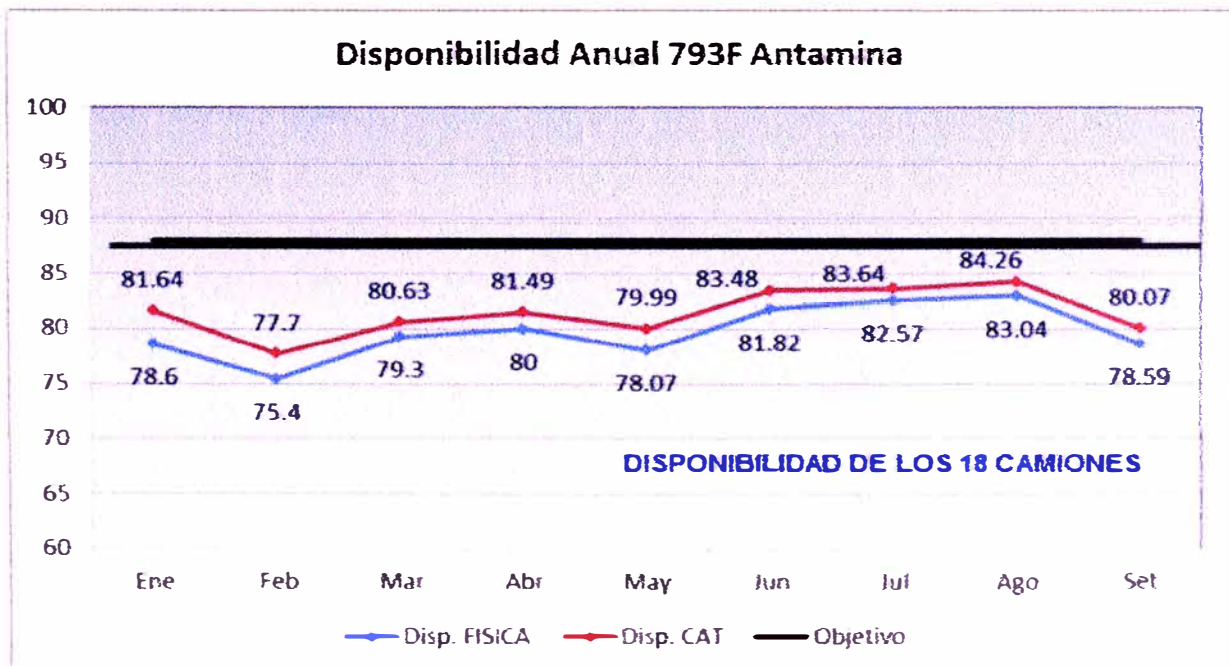


Figura N° 11 – Disponibilidad de los 18 camiones en el año 2011.

Luego de aplicar las mejoras a los equipos la disponibilidad aumento sin embargo aun no se conseguía la disponibilidad prometida (88%).

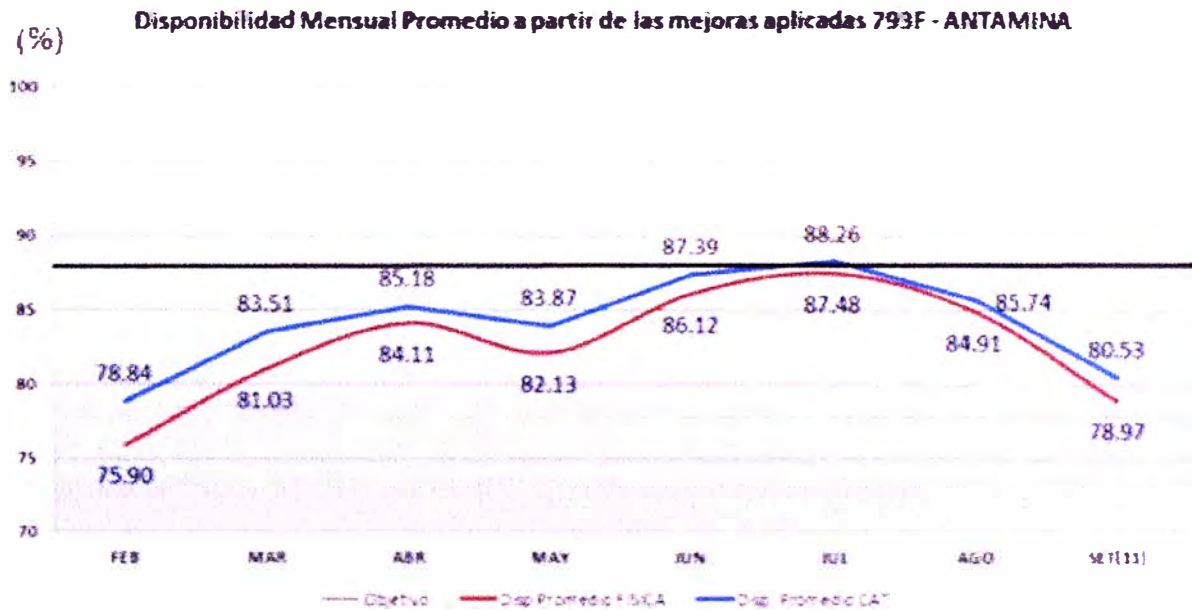


Figura Nº 12 – Disponibilidad de los 18 camiones en el año 2012.

Observándose también el incremento del indicador MTBF (media aritmética del tiempo entre fallas).

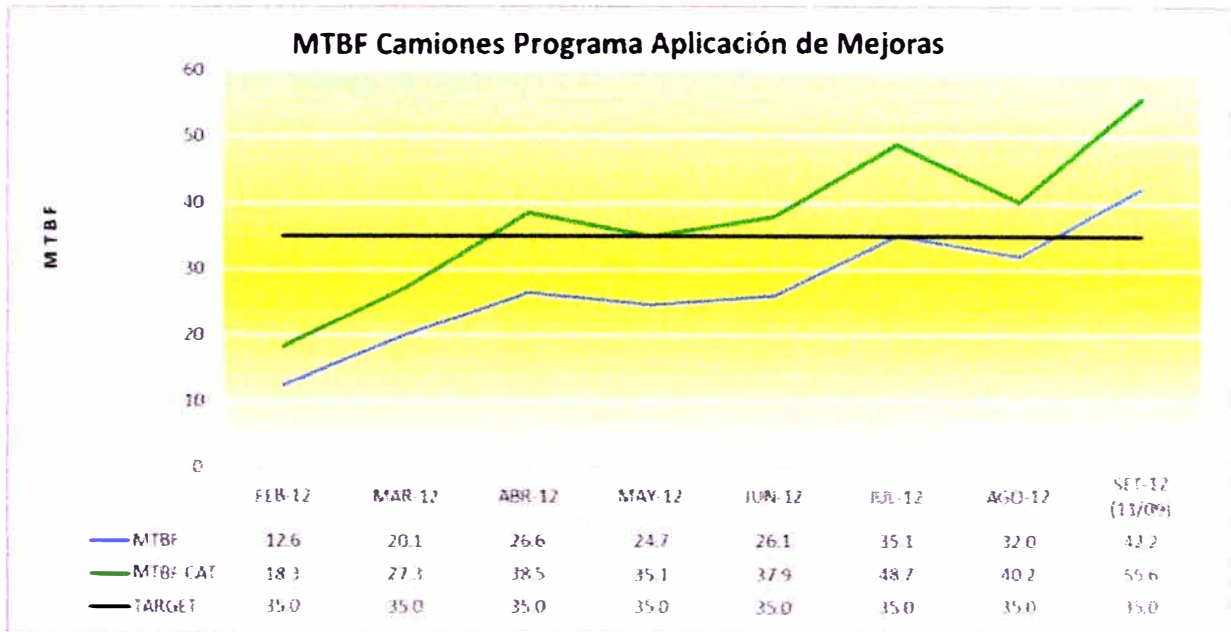


Figura N° 13 – MTBF en el año 2012 (luego de la aplicación de mejoras).

Es por ello que la gerencia de gran minería de Ferreyros se traza la meta a partir de Noviembre del 2012 de llegar a los valores esperados de los siguientes indicadores:

- MTBF= 40 Hrs.
- Disponibilidad física 87%, CAT 85%.
- Trabajos Programados/ Trabajos no programados = 70/30.

3.2. PARADAS NO PROGRAMADAS

Las paradas en campo o no programadas sin duda afectaron grandemente la disponibilidad de la flota, siendo necesario reducir las frecuencias de estas paradas.

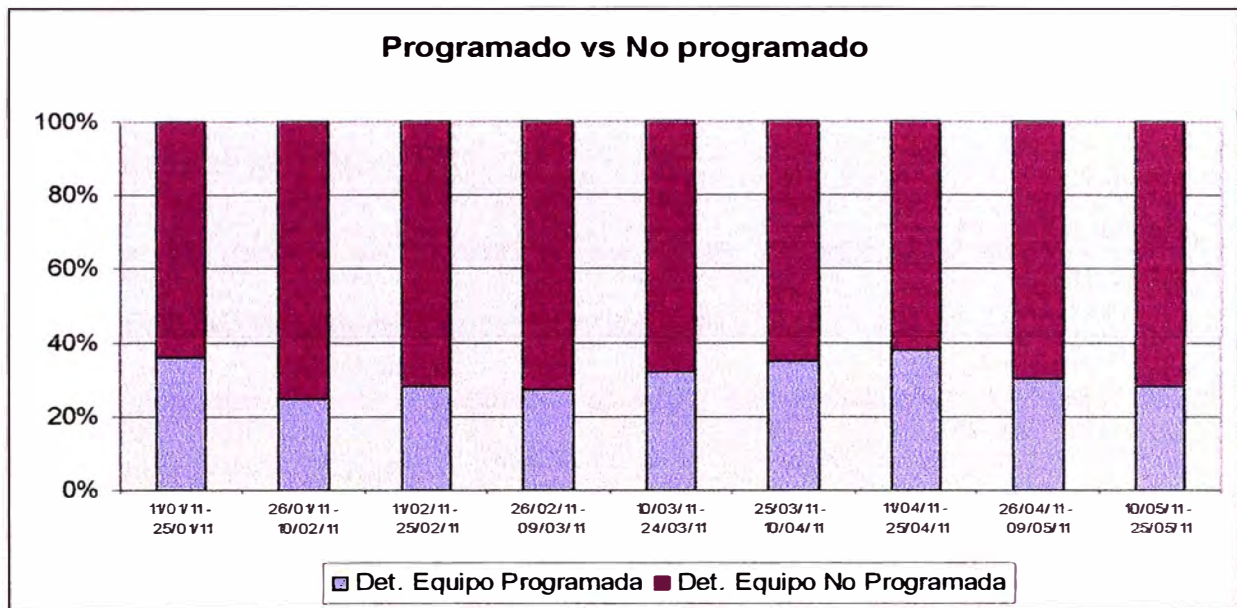


Figura N° 14 - Frecuencias de paradas programadas vs no programadas al inicio del periodo 2011

Total Programado Vs No Programado

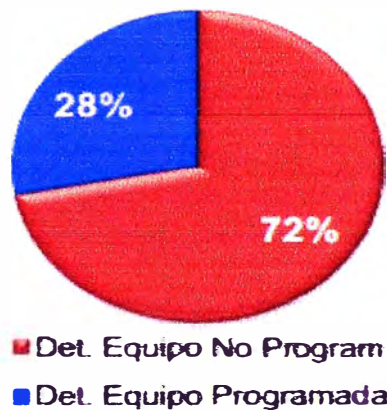


Figura N° 15 - Promedio de la frecuencia de paradas programadas vs no programadas del 2011

En cuanto al tiempo de parada del equipo en campo puede variar con el tiempo de reparación de la falla y con la falta de conocimiento para identificar el causante de la falla.

La idea es reducir la frecuencia de estas paradas, es por ello que es necesario resolver las siguientes interrogantes:

- ¿Existen fallas, las cuales puedan ser identificadas través de una inspección visual?
- ¿Las reparaciones de estas fallas identificadas pueden ser programadas?

Para resolver estas interrogantes es necesario tener claro lo siguiente:

3.2.1 Causales de paradas no programadas

Las paradas no programadas pueden deberse a diferentes problemas como: aire acondicionado, temperatura alta de los sistemas, desgaste de llantas, etc. las cuales afectan la disponibilidad de los equipos.

El porque de las paradas en campo pueden ser vistos desde la oficina a través de un software llamado Dispatch, cuya base de datos esta siendo actualizada constantemente por un personal de la compañía minera Antamina, el cual siempre esta en contacto con los operadores de los equipos permitiéndole de esta forma conocer la condición del equipo . A continuación se observa un pantallazo de lo que te da a conocer el Dispatch mediante el cual se menciona la lista de camiones parados, su ultima ubicación del camión, la ubicación a la que se dirigía el camión, el estado del camión

(considerado acá como equipo detenido), razón de la parada del camión (que puede ser por mantenimiento programado o por mantenimiento no programado) y por ultimo te indica el reporte del operador (es donde el operador indica porque hizo parar el equipo).

Camiones	Estado del equipo			Reporte del operador
	Ultima ubicacion	Ubicacion a la que se dirigia	Razon de parada del equipo	
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				
31				
32				
33				
34				
35				
36				
37				
38				
39				
40				
41				
42				
43				
44				
45				
46				
47				
48				
49				
50				

Figura N° 16 – Condición de los camiones parados reportada a través del Dispatch.

Ahora bien, el tema aquí son las paradas no programadas provocadas por un problema de fuga, la rotura de un componente por falta de lubricación, etc. Es decir problemas que pudieron haber sido identificadas desde sus inicios a través una inspección visual adecuada lo cual permitiría que sus reparaciones sean realizadas en el mantenimiento programado.

Por ejemplo: Si un equipo paro en campo por la rotura de una manguera, es muy posible que se haya podido identificar el mal estado de dicha manguera antes de que se produzca su rotura, es decir se pudo haber observado que existía rozamiento con otra manguera o el inicio de la fuga, programándose su cambio y evitando la parada del equipo en campo.

3.2.2 Reparaciones programadas

Las reparaciones pueden ser simples y tardar poco como el cambio de una manguera dañada así como también puede ser complejas y tomar más tiempo como el cambio de un tanque de combustible debido a que se encuentra rajado.

Es por ello que al programar varios trabajos en el PM estos se pueden realizar en paralelo, permitiéndonos así reducir el promedio mensual del tiempo de paradas no programadas.

CAPITULO IV

PLAN DE INSPECCION VISUAL

El propósito de un plan de inspección es definir y realizar aquellas actividades necesarias para detectar el deterioro en servicio de los equipos antes de que se produzcan las fallas.

El plan de inspección debe sistemáticamente identificar:

- ¿Qué tipo de daño se produce?
- ¿Dónde debe buscarse?
- ¿Cómo puede detectarse (técnica de inspección)?
- ¿Cuándo o con qué frecuencia debe inspeccionarse?

4.1. MECANISMOS DE FALLAS Y LOS TIPOS DE DAÑO QUE PRODUCEN.

Para diseñar un plan de inspección visual efectivo se tiene que conocer cuales son las fallas mas frecuentes que están presentes en el equipo y a la vez como pueden ser detectados sin la necesidad de desarmar ningún componente. Y estas fallas son tales como fugas (estas pueden ser fugas de aceite, fugas de refrigerante, fugas de combustible y fugas de gases de escape), rotura o ausencia de pernos, ausencia de grasa, rajaduras y en algunos casos desgastes.

4.1.1 Fugas de Aceite

Las fugas de aceite se pueden presentar en los componentes a través de sus sellos o en los sistemas a través de mangueras y tuberías, siendo diferentes sus causas que pueden provocarla. Un ejemplo aplicativo de esto es mostrar las diferentes causas que provocan la fuga de aceite por el sello duo cone de los mandos finales:

Empezamos definiendo que es el sello duo cone, el cual es un tipo de sellado que se ubica en las ruedas y mandos finales, los cuales realizan tres funciones básicas:

- a. Impiden las fugas de aceite lubricante del eje trasero.
- b. Impiden que el polvo y los residuos externos contaminen el aceite lubricante.
- c. Separa el aceite de freno del aceite del tren de impulsión.

En la siguiente imagen se muestra la ubicación del sello llamado duo cone en el mando final.

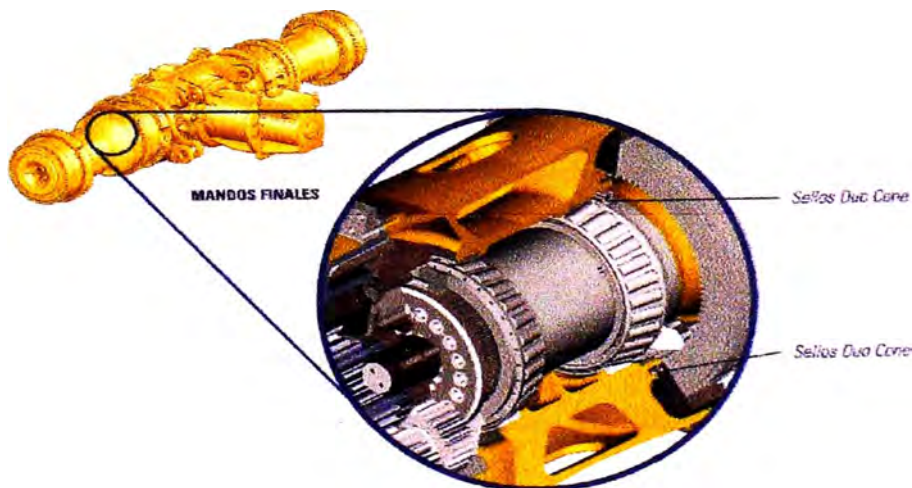


Figura N° 17 – Ubicación de Sello Duo Cone en el Mando Final

4.1.2 Fuga de Refrigerante

Las fugas de refrigerante se pueden manifestar en algunos componentes como enfriadores o culatas del motor y a través de líneas del sistema de refrigeración.

Pondremos como ejemplo aplicativo el que se presenta entre las culatas y el bloque del motor (block), manifestándose como rastros de refrigerante en las tapas de inspección del bloque los cuales provienen principalmente desde las bases de las culatas.

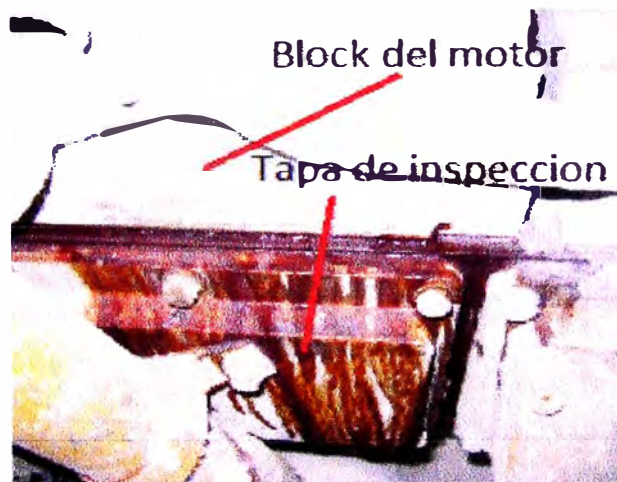


Figura N° 18 - Trazas de fuga de refrigerante en tapas de inspección.

Este modo de falla se muestra inicialmente con la presencia de sodio (Na) en la muestra de aceite.

Sample Date	Demora	SMU	O.H.	O.H.2	Cu	Fe	Cr	Ni	Ti	V	Cd	Ag	Pb	Sn	Al	Si	Na	K	Mo	B	Ba	Ca	Mg
17/02/2009	2	10166	2904		1	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	5	1	1	0	0	2206	248
15/02/2009	2	10182	2920		2	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	6	1	1	1	0	2201	257
11/02/2009	1	10064	265		1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	36	0	2	3	0	2216	253
11/02/2009	2	10082	2820		1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	43	1	3	3	0	2345	255
09/02/2009	1	10039	240		2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	33	1	2	3	0	2322	267
08/02/2009	2	10019	220		3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	22	1	2	2	0	2373	246
05/02/2009	4	9951	152		3	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	28	1	2	2	0	2398	230
03/02/2009	2	9890	91		0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	18	1	1	3	0	2382	290
01/02/2009	2	9858	2596		2	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	42	1	3	3	0	2411	264

Figura N° 19 – Presencia de sodio (Na) en aceite de motor por culata rajada.

Si se detecta presencia de plomo (Pb) en el muestreo esto nos podría indicar que los cojinetes de biela (poseen plomo en su composición) están siendo afectados por la presencia del refrigerante en el aceite debido a que el aceite en contacto con el refrigerante pierde sus propiedades de lubricación pudiendo ocasionarse rozamiento en las superficies de los cojinetes de biela.

4.1.3 Rotura o Ausencia de Pernos

La rotura por fatiga o ausencia de pernos puede deberse a un torque inadecuado durante la instalación, un ejemplo de ello se observa en la siguiente figura donde se muestra la rotura del perno de una abrazadera de escape.



Figura N° 20 - Abrazadera de escape con perno roto.

El correcto ajuste de la abrazadera se encuentra en el manual de servicio y se puede buscar de dos formas.

Una de ellas es a través del número de parte del múltiple de escape donde se va a colocar la abrazadera y la otra forma es conociendo la medida del ancho de la abrazadera.

Para este caso el número de parte del múltiple de escape es 3242352, con este número se puede buscar el torque de ajuste necesario en el manual de partes.

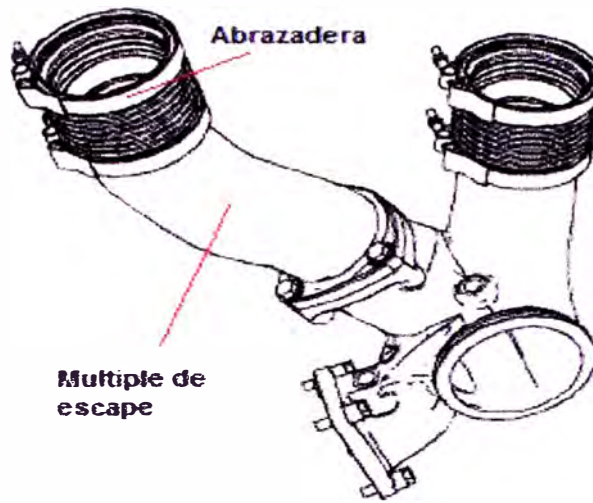


Figura N° 21 – Múltiple de escape.

Siendo el torque de 7.5 N.m +/- 1.0 N.m.

Ahora si se desea obtener el ajuste a través del ancho de la abrazadera, se utiliza la siguiente tabla:

Ancho (A) de la abrazadera	Par para la abrazadera
7,5 mm (0,3 pulg) o menos	1,4 ± 0,3 N·m (12 ± 3 lb-pulg)
12 mm (0,5 pulg) o menos	4,5 ± 0,7 N·m (40 ± 6 lb-pulg)
14 mm (0,6 pulg) o menos	7,5 ± 1 N·m (66 ± 9 lb-pulg)

Figura N° 22 – Tabla de ajuste de abrazaderas

Midiendo el ancho de la abrazadera, este es de 14 mm.

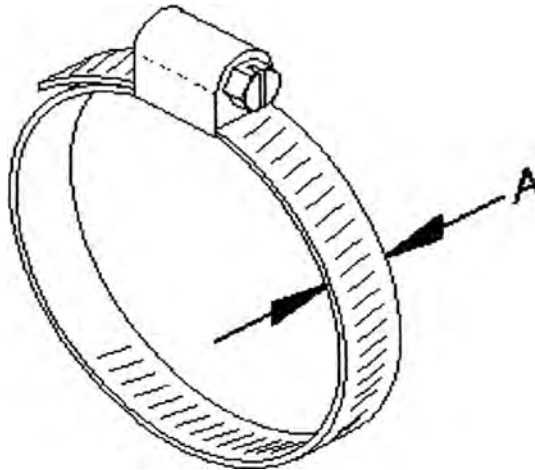


Figura N° 23 – Ancho de la abrazadera.

Con esta información buscamos en la tabla de ajuste de abrazaderas obteniendo nuevamente que el torque de ajuste es de 7.5 N.m +/- 1.0 N.m.

4.1.4 Fuga de Gases de Escape

Este tipo de falla se produce en el sistema escape, presentándose como una fuga por el bellow de escape. El bellow de escape es un conector flexible, el cual permite la conexión de dos tubos rígidos, dando facilidad al momento de realizar un desmontaje.



Figura N° 24 – Bellow (conector flexible) de escape que presenta rastros de fuga.

Estas fugas producen una pérdida de potencia del equipo, dando muestra de diferencias de temperatura de escape de ambos bancos. En la siguiente figura se muestra que la diferencia de temperatura de escape de ambos bancos (línea roja) es mayor a cero.

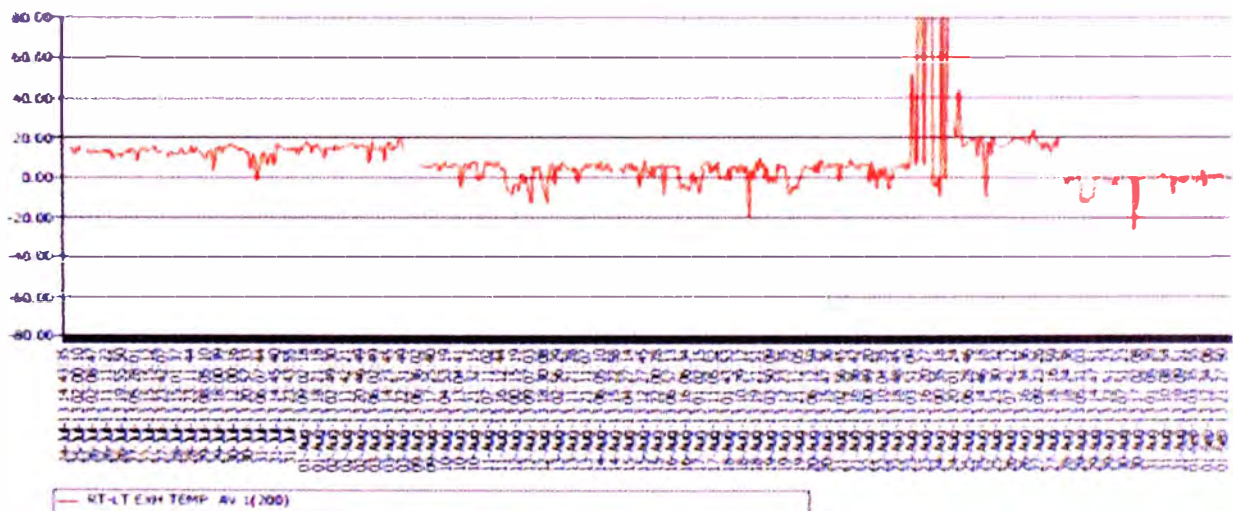


Figura N° 25 – Diferencia de temperatura escape debido a fugas de escape.

4.1.5 Ausencia de Grasa

La falta de grasa en algunos componentes que la requieran producida por problemas en el sistema de grasa como líneas o inyectores obstruidos, puede ocasionar fallas catastróficas. Un ejemplo de esto es el caso de los conectores de la estructura del camión conocidos como links a los cuales siempre les debe llegar grasa, ya que la ausencia de grasa puede producir un desalineamiento del pasador que sujeta estos conectores.



Figura N° 26 – Zonas con grasa de los conectores de la estructura.

4.1.6 Fisuras

Las fisuras del camión se pueden presentar en diferentes zonas del equipo, sin embargo existen zonas de la estructura del equipo donde estas pueden llegar a ser críticas (estas fisuras pueden llegar a ser críticas si se encuentran en los rieles de la estructura del camión).

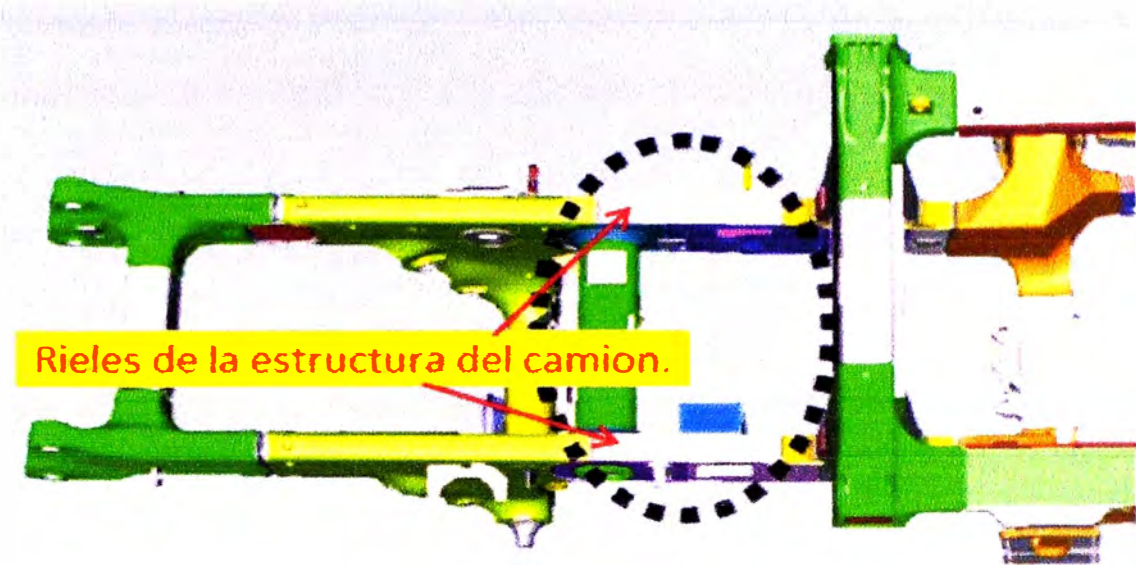


Figura N° 27 – Ubicación de los rieles de la estructura del camión.



Figura N° 28 – Fisura en soporte de un enfriador del sistema de transmisión (fisura señalada por línea roja)

Las fisuras que se encuentran críticas pueden producir una rotura extensiva de la estructura del equipo, ya que tienden a propagarse.

4.1.7 Desgaste

El desgaste el cual puede ser visible puede referirse al desgaste que sufre una manguera por rozamiento o al desgaste de cableado eléctrico.

4.1.8 Fuga de Combustible

Las fugas por el retorno del inyector es una de las fallas en el sistema de combustible que más frecuentemente se viene registrando en los motores C-175.



Figura N° 29 – Fuga de combustible por la línea de retorno.

La fuga excesiva de varias líneas de retorno (más de 5 líneas de retorno) puede llegar a producir la pérdida de potencia en el equipo.

4.2 PUNTOS A INSPECCIONAR

En general todos los mecanismos de falla mencionados con anterioridad se producen en todos los grupos de un camión minero, es por ello que al seleccionar un formato de inspección adecuado podríamos tomarlo de referencia el usado en el proyecto Yanacocha. Sin embargo es necesario establecer cual es la frecuencia de las fallas y el tiempo de paradas

imprevistas de cada grupo ya que estos resultados pueden variar con el proyecto donde se encuentren los equipos. Este análisis le sirve al área de monitoreo para establecer cual es el grupo donde se requiera mayor empleo de tiempo al momento de realizar la inspección del equipo.

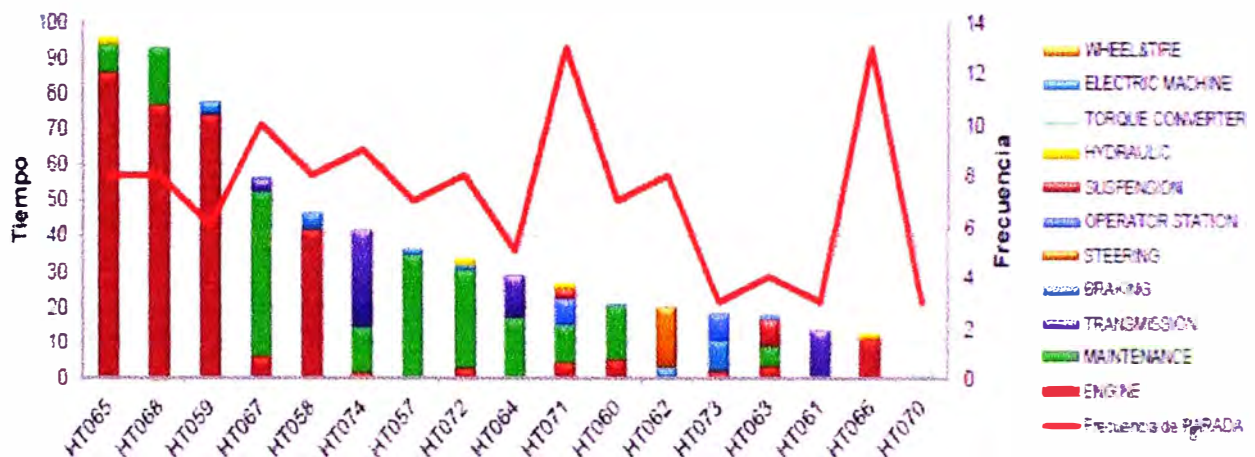


Figura N° 30 – Tiempo de paradas imprevistas y frecuencia de fallas analizado por equipos y por grupos en la primera mitad del año 2012.

Del gráfico anterior se concluye que el motor es el grupo más sensible a presentar fallas, es decir es el grupo donde se tiene que tener mayor detalle al momento de realizar la inspección del equipo.

Es necesario conocer también que la inspección visual debe ser el primer paso para diagnosticar un problema o realizar una prueba de rendimiento.

A continuación se muestra los pasos a seguir al realizar una inspección visual en el sistema de aire acondicionado, sistema de dirección y sistema de freno.

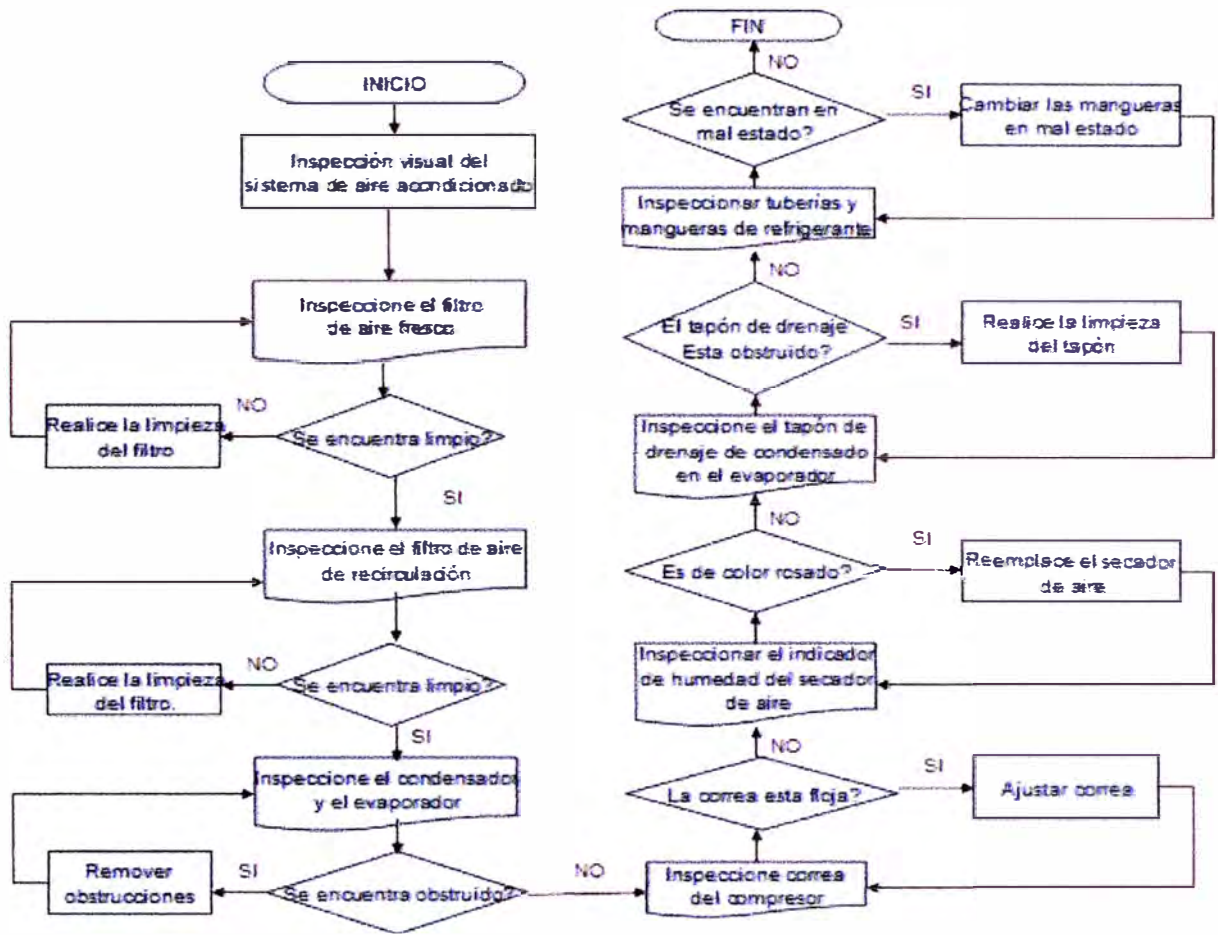


Figura N° 31 – Inspección visual del sistema de aire acondicionado.

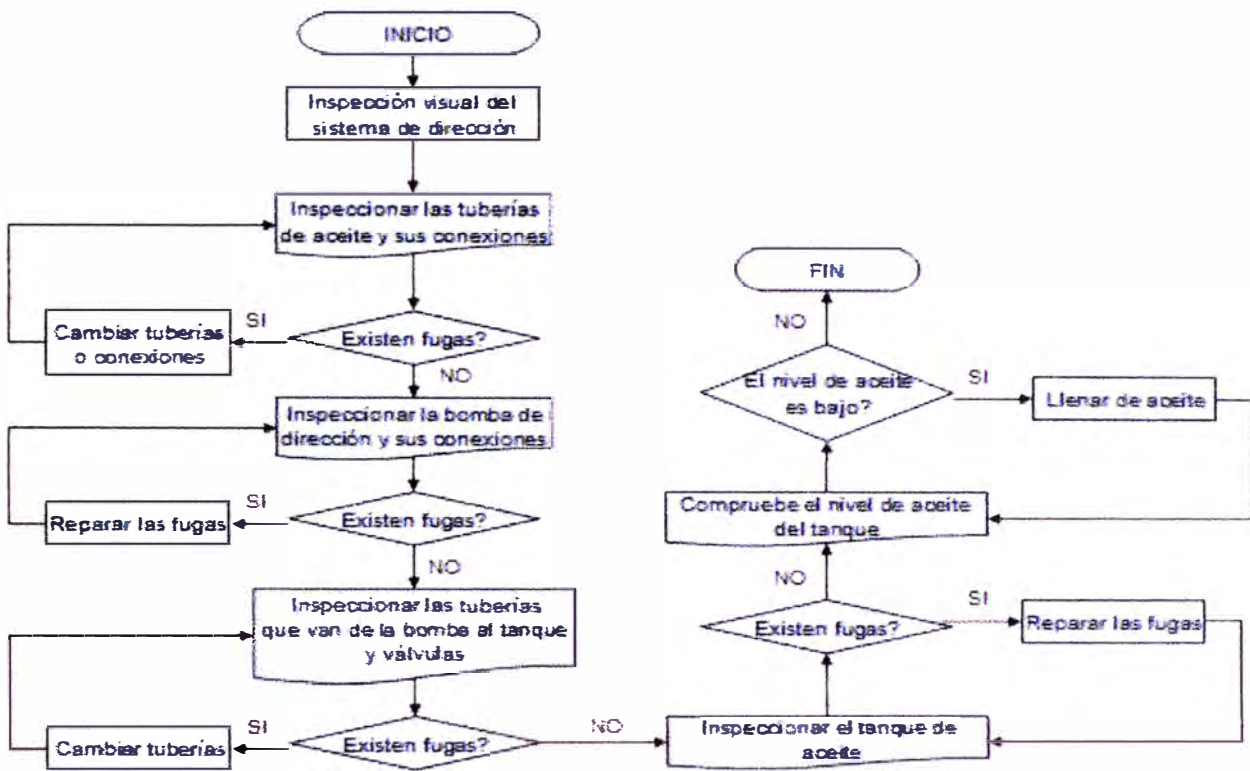


Figura N° 32 – Inspección visual del sistema de dirección.

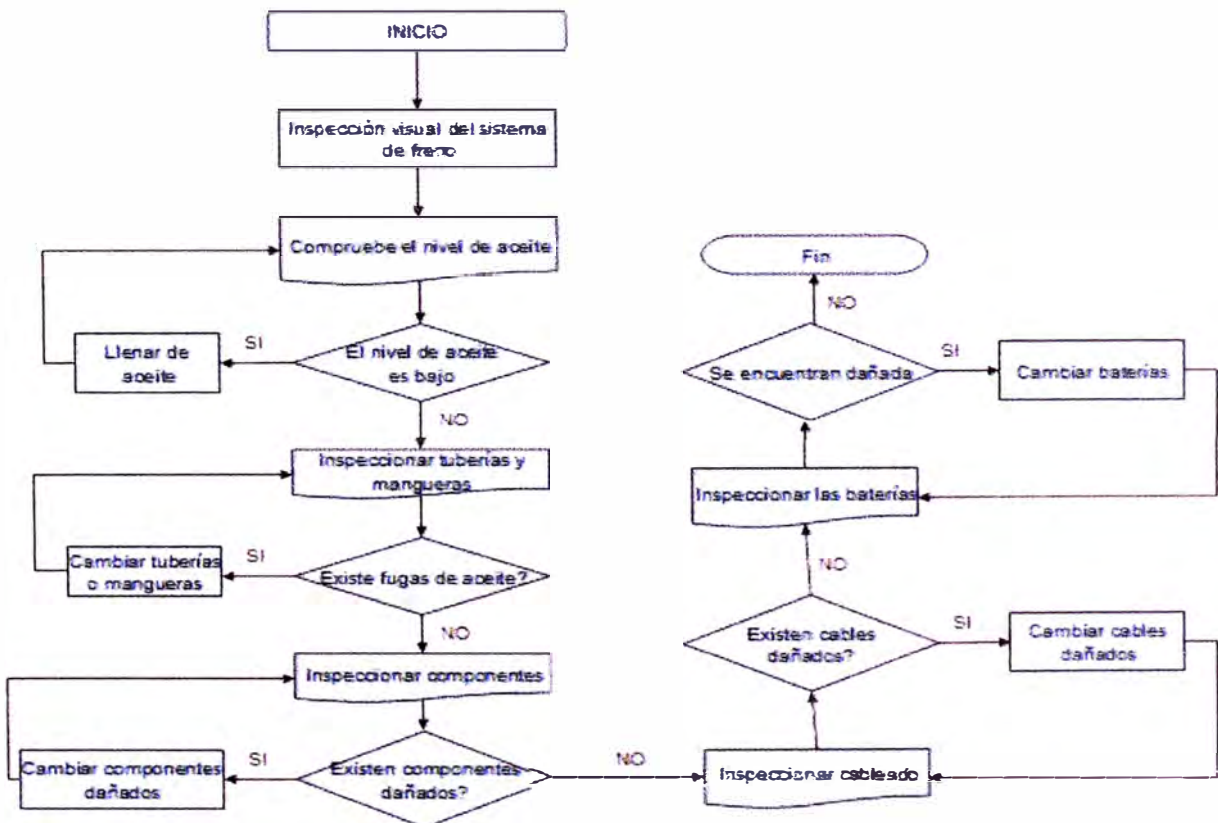


Figura N° 33 – Inspección visual del sistema de frenos.

También existe el caso en donde es necesario el uso de un boroscopio para tener acceso a la causa de la falla.

Un ejemplo de ello es cuando se encuentra presencia de Sodio (Na) en el aceite de motor, esto nos puede indicar que existe un pase de refrigerante al aceite de motor, por ello se toma la decisión de buscar si existe alguna culata rajada con el boroscopio (la inspección de culatas con boroscopio debe ser parte del diagnóstico de pase de refrigerante al aceite. Por lo que se debe buscar también otros orígenes como compresor de aire o en las bombas de agua).

Las recomendaciones para la inspección de culatas por pase de refrigerante son las siguientes:

- 1.- Apagar la unidad tratando de mantener todavía una buena temperatura de refrigerante.
- 2.- Ubicar los agujeros de inspección de las lumbreras de admisión, de acuerdo a la foto.

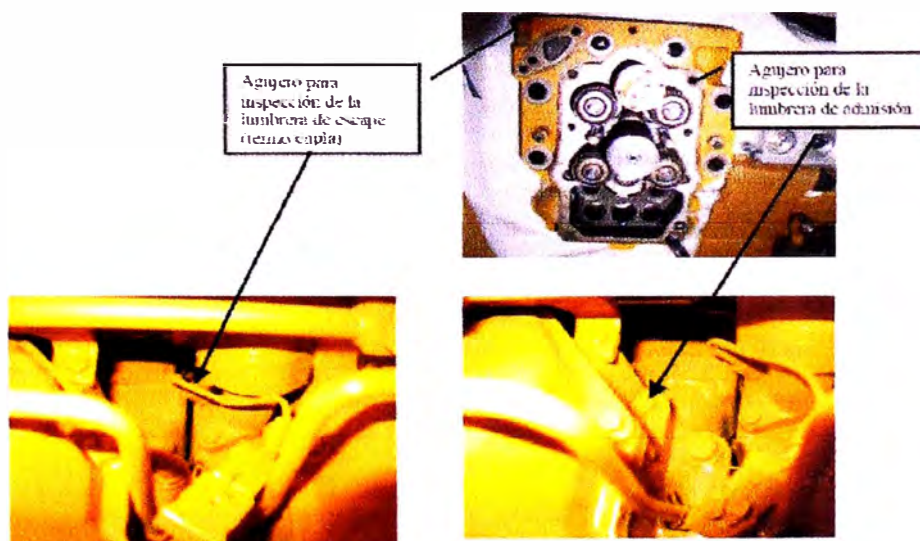


Figura N° 34 – Agujeros de inspección de las lumbreras de admisión

3.- Presurizar el sistema a 18psi.

4.- Introducir el boroscopio flexible por las lumbreras de admisión según se muestra.



Figura N° 35 – Ingreso del baroscopio por las lumbreras de admisión

5.- Buscar puntos sospechosos donde puede existir una fisura. Tal como se muestra.

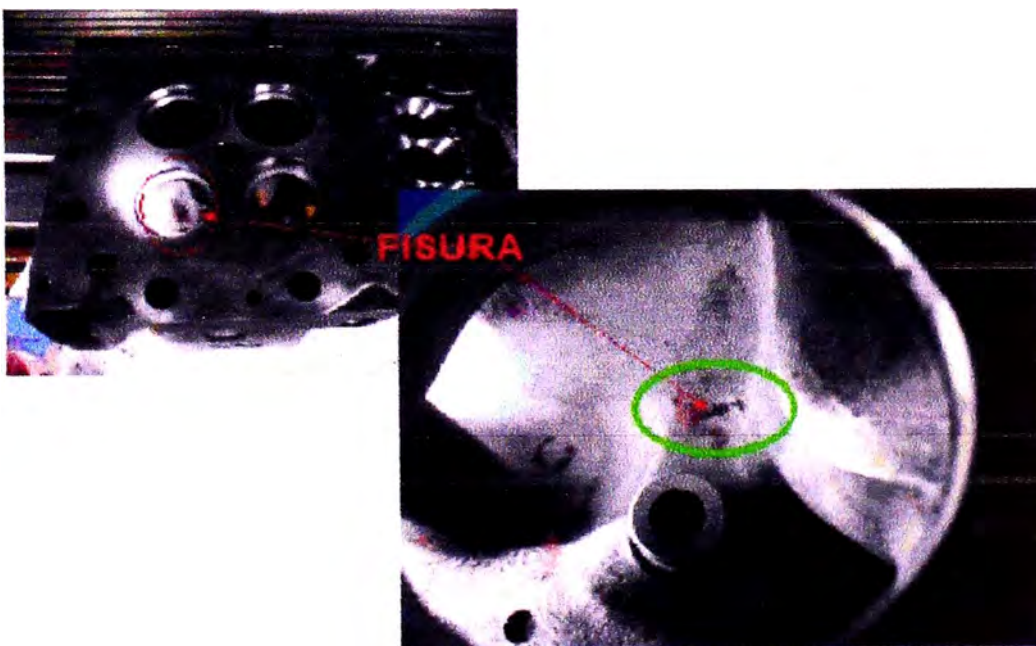


Figura N° 36 – Ingreso del boroscopio por las lumbreras de admisión.

Cuando se tome fotografías con el boroscopio tomar en cuenta que donde hay evidencia de pase de refrigerante se muestra una superficie con acabado irregular.

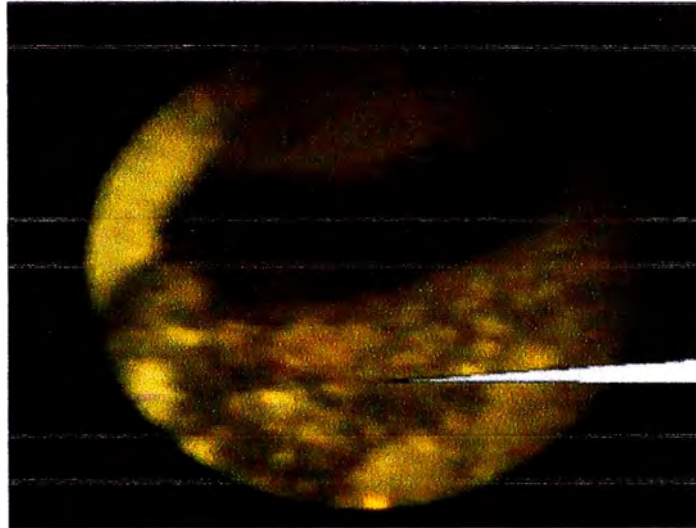


Figura N° 37 – Foto de la culata muestra aparente pase de refrigerante.

6.- Repetir este procedimiento con cada una de las culatas.

4.3 TECNICA DE INSPECCION

Conocer la técnica de inspección a seguir implica saber que formato de inspección se usara y cuales son los procedimientos a seguir.

4.3.1 Formato de Inspección

La inspección del equipo será guiada mediante un formato tipo lista de chequeo (check list) y fue proporcionado por el área de planeamiento, la cual a tomado de referencia el usado en el proyecto Yanacocha.

Este formato consta de las siguientes partes:

- a) **Inicio de formato:** Este formato da inicio con la colocación del nombre del supervisor, los nombres de los inspectores, la denominación del equipo, el horómetro del equipo y la fecha en que se hizo la inspección.

Monitoreo Central División Minería		Ferreyros CAT	
FORMATO INSPECCION PM 793F			
SUPERVISOR:		EQUIPO:	
INSPECTOR 1:		HOROMETRO:	
INSPECTOR 2:		FECHA:	

Figura N° 38 – Inicio de formato de inspección

- b) **Encabezado:** El encabezado para indicar los puntos a inspeccionar esta dado por la gravedad en que se encontró la falla, el componente a inspeccionar, el mecanismo de falla (nombrado como observaciones) y finalmente saber si se corrigió o no la falla (en el caso de una falla no corregida es posible que se cree un formato de solicitud de partes para una reparación programada denominado backlog).

K O	Leve	Moderado	Grave	COMPONENTE	OBSERVACIONES	¿SE CORRIGIO?		
						SI	NO	Backlog

Figura N° 39 – Encabezado de lista de chequeo.

En cuanto a las deficiencias que se detecten en las inspecciones de los camiones mineros se evaluarán de acuerdo con su gravedad y deberán ser subsanadas de acuerdo al estado en como se encuentren, por ello se clasificarán de la siguiente forma:

Defecto leve: Es aquel que no muestra un riesgo grave ni para el equipo ni para el personal que interviene el equipo. En caso de una fuga de un fluido se podría manifestar como pequeños rastros de este.



Figura N° 40 – Cilindro de dirección muestra fuga de aceite en forma leve.

Defecto moderado: Es aquel que se encuentra en seguimiento y podría esperar su reparación hasta que se encuentra en forma grave. En caso de una fuga de un fluido se podría manifestar como una zona de tierra con humedecimiento donde se observa algunas gotas que caen de este fluido.



Figura N° 41 – Fuga de aceite en nivel medio por línea de dirección.

Defecto grave: Es aquel en el cual es necesario su reparación de manera inmediata ya que implica un riesgo grave de producir daños a la persona o a la integridad del equipo. La detección de un defecto grave obliga a la paralización inmediata del equipo. En caso de una fuga de un fluido, la zona afectada se presenta totalmente mojada acompañada con una caída continua de este fluido.



Figura N° 42 – Fuga de aceite grave en suspensión delantera derecha.

- c) **Listado de puntos a inspeccionar:** Luego del encabezado se nombran los puntos a inspeccionar los cuales serán separados por zonas del equipo.

Las zonas separadas dentro de la lista de chequeo son: lado derecho del equipo, lado posterior del equipo, lado izquierdo del equipo, parte inferior del equipo, parte superior del equipo, motor , radiador, plataforma y cabina. A continuación se muestran las zonas mencionadas con sus respectivos puntos a inspeccionar.

LADO DERECHO DEL EQUIPO

- 1. VALVULA DE ALIVIO Y SOLENOIDE DE DIRECCION** (Verificar fugas de aceite, rozamiento de líneas, ajuste de abrazadera).
- 2. SUSPENSIÓN DELANTERA DERECHA** (Revisar fuga de aceite por vástago, válvula de alivio de grasa / pernos de sujeción sueltos o faltantes / fisuras).
- 3. RUEDA DELANTERA DERECHA** (Fugas de aceite por el sello duo cone, paquete de frenos, mangueras y tuberías, respiradero, tapa de llenado).

4. FILTRO DE RETORNO DE ENFRIAMIENTO DE FRENOS Y FILTRO DE RETORNO DE CARCASA DE BOMBA DE VENTILADOR (Fugas de aceite / rozamiento de líneas y tuberías / sujeción de cableado eléctrico).
5. MULTIPLE DE GRASA DERECHO , (Revisar fugas de grasa, rozamiento de mangueras, estado de abrazadera de mangueras).
6. ENFRIADORES DE FRENOS DELANTEROS Y POSTERIORES (Fugas de aceite / rozamiento de mangueras y tuberías / soportes rotos y sueltos / abrazaderas sueltos o faltantes).
7. TANQUE HIDRAULICO. LOS 4 LADOS (Fugas de aceite por tapas, empaquetadura, líneas, tuberías, filtros, motor hidráulico, rejillas / rozamientos de líneas y tuberías / figuras en soporte, pernos y clip sueltos o faltantes / sujeción de cableado eléctricos, conectores y sensores).
8. CILINDRO DE LEVANTE DERECHO (Fugas de aceite por el vástago, líneas / fugas de grasa por líneas / rozamiento de líneas / fisuras en los soportes / pines superior e inferior / sujeción de clip y abrazadera).
9. MANDO FINAL DERECHO (Fugas de aceite por el sello duo cone, paquete de frenos, mangueras de freno y tuberías de enfriamiento / pernos de sujeción sueltos o faltantes).

Figura N° 43 – Lado derecho del equipo (puntos a inspeccionar).

LADO POSTERIOR DEL EQUIPO
10. CILINDRO DE SUSPENSIÓN POSTERIOR IZQUIERDO Y DERECHO (Fugas de aceite por vástago / verificar lubricación de pines superior e inferior / sujeción de cableado eléctrico, conectores, sensores / rozamientos de líneas o fugas).
11. BOTAPIEDRAS DERECHO E IZQUIERDO (Estado de soportes, pernos sueltos).
12. MULTIPLE Y LINEAS DE GRASA POSTERIOR (Fugas de grasa / rozamiento de líneas / sujeción de abrazaderas).
13. SISTEMA DE CAMARAS (Revisar rotura de micas de los sensores y cámara, soportes rotos o sueltos, cableado eléctrico sueltos).
14. PINES DE PIVOTE DE TOLVA DERECHO E IZQUIERDO (Exceso o falta de grasa / juegos / seguros de pines / líneas de grasa).
15. DIFERENCIAL (Fuga de aceite en sello anclaje, tapas / pernos faltantes o flojos / estado de cableado eléctrico, puentes, rozamiento, sujeción de conectores y sensores / fisuras o fugas en la carcasa).
16. VALVULA DE DERIVACION, FILTRO DE ACEITE DE DIFERENCIAL Y MANDOS FINALES (Fugas, líneas, rozamientos, cableado eléctrico).
17. CARCAZA DE DIFERENCIAL (Verificar fugas de aceite o fisuras).

Figura N° 44 – Lado posterior del equipo (puntos a inspeccionar).

LADO IZQUIERDO DEL EQUIPO

- | |
|---|
| 18. MANDO FINAL IZQUIERDO (Fugas de aceite duo cone, paquete de frenos, mangueras de freno y tuberías de enfriamiento / pernos de sujeción sueltos o faltantes). |
| 19. CILINDRO DE LEVANTE IZQUIERDO (Fugas de aceite por el vástago, líneas / fugas de grasa por líneas / rozamiento de líneas / fisuras en los soportes / pines superior e inferior / sujeción de clip y abrazadera). |
| 20. TANQUE COMBUSTIBLE. LOS 4 LADOS (Fugas en toma rápida, mirillas de nivel y tanque / rozamiento de líneas / fisuras en soportes superiores e inferiores / estado del sensor de nivel). |
| 21. FILTROS PRIMARIOS DE COMBUSTIBLE O SEPARADORES DE AGUA (Fugas, rozamiento de líneas, soportes). |
| 22. FILTRO DE RETORNO DE ENFRIAMIENTO DE FRENOS Y LINEAS / TUBERIAS HIDRAULICAS (Fugas de aceite / rozamiento de líneas y tuberías / sujeción de cableado eléctrico / estado de soportes de tuberías). |
| 23. RUEDA DELANTERA IZQUIERDA (Fugas de aceite por el sello duo cone, paquete de frenos, mangueras y tuberías de frenos y enfriamiento, respiradero, tapa de llenado). |
| 24. SUSPENSION DELANTERA IZQUIERDA (Revisar fuga de aceite por vástago, válvula de alivio de grasa / pernos de sujeción sueltos o faltantes / fisuras). |
| 25. ACUMULADORES DE DIRECCION (Fugas de aceite en líneas / soportes / rozamiento de líneas / sujeción de sensores y cableado eléctrico). |
| 26. MULTIPLE DE GRASA (Rozamiento de líneas de grasa, fugas de grasa, estados de las abrazaderas de sujeción). |
| 27. VERIFICAR ESTADO DE LOS TANQUES Y LOS SECADORES DE AIRE (Fugas de aire, rozamiento de líneas) |
| 28. MANGUERAS DE LLENADO RAPIDO (Verificar fugas de aceite, rozamiento de líneas, ajuste de abrazaderas). |
| 29. VALVULA DE CONTROL Y FILTRO DE DIRECCION (Fuga de aceite, rozamiento de líneas / abrazaderas o clip faltantes) |
| 30. LINEAS QUE VAN A LA BOMBA DE DIRECCION (Fugas de aceite/ rozamiento de líneas / pernos, abrazaderas y soportes rotos o sueltos) |

Figura N° 45 – Lado izquierdo del equipo (puntos a inspeccionar).

PARTE INFERIOR DEL EQUIPO

- | |
|--|
| 31. CILINDROS DE DIRECCION DERECHO E IZQUIERDO (Fugas por vástago, rozamiento de líneas, fuga por sellos) |
| 32. BARRA DE DIRECCION-LADO DERECHO E IZQUIERDO (Sujeción y alineamiento de la barra de direccion/ rozamiento de líneas de grasa / fugas de grasa). |
| 33. VERIFICAR BRAZO CENTRAL DE DIRECCION (Juego excesivo o falta de grasa, pernos rotos o flojos, líneas de grasa, desgaste de pin) |
| 34. CONVERTIDOR (Fisuras en guarda inferior, fugas por válvula de alivio , fuga por el sello del yugo, rozamiento de tuberías y mangueras) |

35. REJILLA DE CONVERTIDOR (Inspeccionar por partículas de fierro-Tomar Fotos)
36. BOMBA DE CONVERTIDOR Y TRANSMISION (Rozamiento de líneas, fugas, abrazadera, pernos faltantes)
37. CABLEADO ELECTRICO Y SENSORES DE TEMPERATURA, VELOCIDAD Y NIVEL DE CONVERTIDOR (Conectores, Aseguramiento de cableado eléctrico, abrazadera)
38. CARDAN PRINCIPAL (Pernos flojos o faltantes / fisuras / guardas / estado de crucetas)
39. MANDO BOMBAS. (Pernos de anclaje sueltos o faltantes, fisuras / fugas de aceite)
40. TAPON DE MANDO BOMBAS. (Inspeccionar tapón magnético)
41. BOMBAS DE DIRECCION, VENTILADOR, LEVANTE Y FRENOS (Fugas por testigo, anclaje, cuerpo, rozamiento de líneas, tuberías / estado de abrazaderas)
42. ENFRIADORES DE TRANSMISION Y DIRECCION (Soporte, rozamiento de líneas, pernos faltantes, fugas en líneas)
43. VALVULA DE LEVANTE (Verificar pernos de sujeción, rozamiento de líneas, fugas , sujeción de cableado eléctrico, fisuras en soporte)
44. FILTRO DE FRENO Y MANGUERAS HIDRAULICAS (Soporte, rozamiento de líneas, pernos faltantes, fugas, sujeción de cableado eléctrico)
45. TRANSMISION (Fugas en líneas, rozamiento de líneas, fugas en las rejillas y filtros, fugas en el sello de labio del yugo, fugas en válvula de alivio).
46.REJILLA DE TRANSMISION (Inspeccionar si existe presencia de partículas de Fierro-Tomar Fotos)
47. MANGUERA DE VALVULA DE ALIVIO DE TRANSMISION A BOMBA DE LUBRICACION DE TRANSMISION (Revisar rozamiento de mangueras, abrazadera sueltas y rotas)
48. MANGUERA DE BOMBA DE CONVERTIDOR A ENFRIADOR (Rozamiento de líneas, abrazaderas sueltas o rotas).
49. MANGUERA DE SUCCION DE REJILLA A BOMBA DE TRASIEGO (Rozamiento de líneas, abrazadera sueltas o rotas).
50. MANGUERA DE MANDO DE BOMBAS A REJILLA TRANSMISION LADO DERECHO (Rozamiento de líneas, abrazaderas sueltas o rotas).
51. SENSORES, INTERRUPTOR Y CABLEADO ELECTRICO DE TRANSMISION (Aseguramiento de conectores, puentes y abrazaderas)
52. CONECTORES POSTERIORES (4) (Fugas de aceite / pernos sueltos / fisuras / juegos de pines)
53. VERIFICAR BOMBA, MOTOR Y REJILLA DE BOMBA DE LUBRICACION DE DIFERENCIAL (Fugas de aceite testigo, líneas, rejillas / rozamiento de líneas / fisuras, conectores y cableado eléctrico suelto).

Figura N° 46 – Parte inferior del equipo (puntos a inspeccionar).

PARTE SUPERIOR DEL EQUIPO

54. SILENCIADOR DE ESCAPE (Revisar fisuras en soportes, pernos sueltos o faltantes, abrazaderas sueltas o rotas).
55. PADs DE TOLVA OSILANTE LADO DERECHO E IZQUIERDO (Revisar rajaduras, desgaste de jebe, falta de pernos)
56. MANDO DE BOMBAS Y BOMBAS (Calentamiento y juego de crucetas, guardas, fugas , rozamiento de líneas y tuberías).
57. CONVERTIDOR PARTE SUPERIOR (Sujeción de cableado eléctrico, conectores, puentes, fugas, rozamiento de líneas, guardas, fuga por sello de labio de yugo).
58. ENFRIADORES TRANSMISION Y DIRECCION, PARTE SUPERIOR (Revisar guardas, fugas , rozamiento de líneas, tuberías).
59. VALVULA DE CONTROL DE FRENOS (Revisar fugas, rozamiento de líneas y tuberías, sujeción de cableado eléctrico y conectores eléctricos).
60. REJILLA DE SISTEMA DE LEVANTE (Revisar fugas, rozamiento de líneas y tuberías, sujeción de cableado eléctrico y conectores eléctricos).
61. BOMBA ELECTRICA DE FRENOS (Revisar fugas, rozamiento de líneas y tuberías, sujeción de cableado eléctrico y conectores eléctricos).
62. ACUMULADORES DE FRENOS (Revisar fugas, rozamiento de líneas y tuberías, sujeción de cableado eléctrico y conectores eléctricos).
63. TANQUE HIDRAULICO (Revisar fugas, rozamiento de líneas y tuberías, tapa de llenado, fisuras en el soporte superior).
64. TANQUE DE COMBUSTIBLE (Revisa ajuste de líneas y respiraderos, fisuras en el soporte, rozamiento de mangueras).
65. PLATAFORMA DE TREN DE POTENCIA (Revisar rajaduras, pernos faltantes, guardas rotas o sueltas, sujeción o ajuste de cableado eléctrico).
66. TRANSMISION PARTE SUPERIOR (Revisar fugas en líneas y yugo de transmisión, rozamiento de líneas, tuberías, sujeción de cableado eléctrico y conectores).
67. PADs DE TOLVA PARTE INFERIOR LADOS IZQUIERDO Y DERECHO (Revisar rajaduras, desgaste de jebe, falta de perno).
68. CONECTORES POSTERIORES (Revisar juego de pasadores, Fuga de aceite, fisuras o rajaduras, seguro de pasadores).

Figura N° 47 – Parte superior del equipo (puntos a inspeccionar).

MOTOR

69. INSPECCIÓN DE REJILLA DE MOTOR (Inspeccionar si existe presencia de partículas-Tomar Fotos)
70. SOPORTES DE MOTOR PARTE DELANTERA (Pernos flojos o faltantes).
71. PROTECTOR DE CARTER (Pernos flojos o faltantes/ golpes).
72. CARTER DE MOTOR (Fugas en sellos y empaquetadura / fisuras / pernos faltantes o flojos)

73. BOMBA DE REFRIGERANTE (Fugas por testigo y sellos / rozamiento de tuberías y líneas / cableado eléctrico y conectores sueltos).
74. BOMBA PRINCIPAL DE ACEITE MOTOR Y VALVULA DE ALIVIO (Fugas por sellos y líneas / pernos sueltos o faltantes).
75. ALTERNADOR (Fisuras / guardas rotas / pernos faltantes / ajuste de fajas / poleas / cableado eléctrico y conectores sueltos).
76. ENFRIADORES DE ACEITE MOTOR (Fugas por sellos y empaquetadura / pernos faltantes o sueltos).
77. TUBERIA DE ACEITE DE MOTOR UBICACO DEBAJO DEL CARTER (Revisar alineamiento y ajuste a todos los pernos del soporte).
78. SENSOR DE VELOCIDAD TERCARIO (Ajuste de cableado eléctrico y conectores).
79. MOTOR DE ARRANQUE (Pernos sueltos / rozamiento de mangueras / niples sueltos / fugas).
80. SOPORTES DE MOTOR PARTE POSTERIOR DERECHO E IZQUIERDO. (Pernos faltantes o sueltos / fisuras en chasis o soportes).
81. BOMBA DE PURGADO DE COMBUSTIBLE (Fugas / pernos faltantes / rozamiento de mangueras y cableado eléctrico) .
82. FILTROS DE COMBUSTIBLE (Fugas / rozamiento de líneas y tuberías / sensores con cableado eléctrico y conectores sueltos).
83. SENSORES DE PRESION DE COMBUSTIBLE EN LOS FILTROS (cableado eléctrico y conectores sueltos).
84. FILTROS DE ACEITE MOTOR (Fugas / pernos faltantes/ sellos/ mangueras).
85. TUBERIAS DE ACEITE QUE INGRESA AL BLOQUE DE MOTOR LADO DERECHO (Fugas / pernos faltantes o sueltos / soportes rotos).
86. BOMBA DE PURGADO DE COMBUSTIBLE (Rozamiento de líneas / fugas / recalentamiento)
87. COMPRESOR DE AIRE ACONDICIONADO (Rozamiento de líneas / ajuste de faja / guardas).
88. BOMBA DE ALTA PRESION DE INYECCION MAS LA BOMBA DE TRANSFERENCIA (Fugas / rozamiento de tuberías y mangueras / Abrazaderas faltantes).
89. SENSORES DEL LADO DERECHO: (Rozamiento, sujeción de cableado eléctrico y conectores, clamp).
90. CULATAS BANCO DERECHO (Pernos sueltos o faltantes / fugas por empaquetadura/ cableado eléctrico suelto).
91. TUBERIAS DE ALTA PRESION Y RETORNO DE COMBUSTIBLE EN LAS CULATAS DEL BANCO DERECHO (Fugas / pernos faltantes/ tuberías/ cableado eléctrico).
92. MULTIPLE DE ADMISION DEL BANCO DERECHO Y LA TUBERIAS SALIENTES DEL POST ENFRIADOR AL MULTIPLE DE ADMISION (Fugas / pernos faltantes/ abrazaderas sueltas o faltantes, mangueras).
93. TUBERIAS DE ADMISION QUE SALEN DE LOS FILTRO DE AIRE E INGRESAN A LOS TURBOS #4 Y #3 MAS LOS SENSORES DE INGRESO DE AIRE AL TURBO (Fugas, ajuste o falta de abrazaderas y rozamientos).
94. TURBOS DE (2) ALTA Y (4) BAJA (Fugas externas de aceite o refrigerante, abrazaderas sueltas, soporte, pernos faltantes).

95. TUBERIAS DE ADMISION QUE SALEN DE LOS FILTRO DE AIRE E INGRESAN A LOS TURBOS #1 Y #2 MAS LOS SENSORES DE INGRESO DE AIRE AL TURBO (Fugas, ajuste o falta de abrazaderas y rozamientos y conectores sueltos).
96. MULTIPLE DE ADMISION DE CADA CULATA DEL BANCO IZQUIERDO Y LA TUBERIAS SALIENTE DEL POST ENFRIADOR AL MULTIPLE (Fugas / pernos faltantes/ abrazaderas sueltas o faltantes, mangueras).
97. TUBERIAS DE ALTA PRESION Y RETORNO DE COMBUSTIBLE EN LAS CULATAS DELBANCO IZQUIERDO (Fugas / pernos faltantes/ tuberías/ cableado eléctrico).
98. VERIFICAR CULATAS BANCO IZQUIERDO (Pernos sueltos o faltantes / fugas por empaquetadura o sellos/ cableado eléctrico sueltos).
99. VERIFICAR SENSOR DE TEMPERATURA DE ESCAPE LADO IZQUIERDO (Rozamiento de cableado eléctrico y conectores sueltos).
100. VERIFICAR MODULO DE MOTOR (Pernos faltantes, conectores, aseguramiento de cableado eléctrico, soportes).
101. VERIFICAR TUBERIAS DE ALTA PRESION LADO POSTERIOR (Fugas / pernos faltantes/ abrazaderas).
102. VERIFICAR ESTADO DE LA TOMA DE FUERZA O PTO (Fugas por sello de labio/ pernos faltantes estado de cruzetas).
103. VERIFICAR LOS SENSORES DE VELOCIDAD PRIMARIO Y SECUNDARIO (cableado eléctrico, conector, asegurar).

Figura N° 48 – Motor (puntos a inspeccionar).

RADIADOR Y PLATAFORMAS

104. ESCALERA DE ACCESO IZQUIERDO, DERECHO, ESCALERA DIAGONAL Y VERTICAL (Pernos faltantes o flojos / peldaños y soportes rotos / barandas flojas o rotas).
105. TANQUE DE GRASA (Fuga de grasa / soportes o pernos sueltos / mangueras y cableado eléctrico suelto).
106. ESTACION DE SERVICIO RAPIDO (Fugas de aceite / rozamiento de líneas / guardas rotas / seguros rotos).
107. CAJA DE BATERIAS (Bornes sueltos / rozamiento de cables / guardas y soportes sueltos).
108. CAJA DE INTERRUPTORES DE BLOQUEO (Estado de los interruptores / cableado eléctrico suelto).
109. CAJA DE FILTROS DERECHO E IZQUIERDO (Soportes sueltos o rotos / tapas y seguros de filtros sueltos / colectores de polvo / estado de guarda fangos derecho e izquierdo rotos).
110. SOPORTE INFERIOR DE RADIADOR, (Pernos sueltos o faltantes, soporte y guardas rotas).
111. TUBERIAS DE SUCCION DE BOMBAS DE AGUA (Fugas por tuberías o mangueras / bridas o soporte suelto).
112. VALVULA TERMOSTATICA (Pernos y soporte sueltos o rotos / soportes rotos / cableado eléctrico o conectores sueltos / fugas de refrigerante en mangueras y tuberías).

113. VALVULA COMPENSADORA DE VENTILADOR (Soporte o pernos sueltos / rozamiento de mangueras / clip sueltos).
114. POST ENFRIADOR-ZONA LATERAL (Tuberías laterales de salida sueltos / fugas de aire / soportes sueltos/ rejillas sueltas o flojas).
115. ESTADO DE TANQUE DE EXPANSIÓN (Fugas por válvula de alivio o tapa / sensores de nivel conectores o cableado eléctrico sueltos / guardas sueltas).
116. PLATAFLOMA Y BARANDAS SUPERIORES CENTRAL, DERECHA E IZQUIERDA (Pernos sueltos o faltantes / barandas y soportes rotas / clip sueltas / espejos sueltos o rotos).
117. COMPUERTA DE MOTOR (Estado de las bisagras / pernos faltantes / seguros faltantes o rotos).
118. POST ENFRIADOR-ZONA SUPERIOR (Tuberías de salida superior sueltos / fugas de aire / soportes sueltos/ rejillas sueltas o flojas).
119. MOTOR HIDRAULICO DE VENTILADOR (Fugas por testigo o mangueras / soportes o guardas rotas)
120. REJILLA DE VENTILADOR (Soportes rotos / pernos faltantes o flojos / rejillas rotas).
121. VENTILADOR (Rozamiento de las aspas / pernos de soporte sueltos o faltantes).
122. NUCLEO DE RADIADOR (Fugas de refrigerante, núcleo taponado).
123. TEMPLADORES DE RADIADOR SUPERIOR DERECHO E IZQUIERDO (Suelto / pernos faltantes).
124. TUBERIAS DEL FILTRO DE AIRE A ENTRADA DE TURBOS 1,2,3 Y 4 (cableado eléctrico y conectores sueltos de los sensores de presión / abrazaderas sueltas / fugas de aire).
125. SOPORTES Y TEMPLADORES POSTERIORES DE PORTAFILTROS DE AIRE LADO DERECHO E IZQUIERDO (Pernos sueltos o faltantes, soportes rotos o fisuras).

Figura N° 49 – Radiador y plataformas (puntos a inspeccionar).

CABINA

126. BARANDAS DE CABINA DELANTERA, IZQUIERDA Y POSTERIOR (Pernos faltantes o flojos / seguros y soportes rotos / barandas flojas o rotas).
127. PLATAFORMAS DE CABINA DELANTERA E IZQUIERDA (Pernos faltantes o flojos / seguros y soportes rotos / barandas flojas o rotas).
128. ESPEJOS Y PARABRISAS DELANTERO, POSTERIOR Y LATERALES (Rajaduras / limpieza).
129. CERRADURA DE PUERTAS LADO DERECHO E IZQUIERDO (Verificar funcionamiento de las chapa).
130. ASIENTO PILOTO Y COPILOTO (Estado de la suspensión / funcionamiento de espaldar / funcionamiento de cinturón de seguridad).
131. CONSOLA DE CONTROL (Funcionamiento de palanca de cambios / palanca de levante e interruptores) Realizar con maquina apagada.
132. CONSOLA DE FUSIBLES Y DISYUNTORES (Estado de fusibles, relé y disyuntores).

Figura N° 50 – Cabina (puntos a inspeccionar).

4.3.2 Personal involucrado en las inspecciones

Todas las inspecciones realizadas de cada camión serán supervisadas por el analista de monitoreo de condiciones y serán llevadas a cabo por dos técnicos de mantenimiento nivel 3 los cuales serán nombrados como inspectores.

Los técnicos son de nivel 3 debido a que ya han certificado las habilidades necesarias como para tener claro los sistemas del equipo.

4.3.3 Procedimiento de Inspección

Antes de realizar cualquier intervención al equipo se debe conocer los procedimientos de seguridad establecidos por el proyecto minero, los cuales son:

1. Llenar un formato llamado AST antes de ingresar al equipo. El llenado de este formato le permite al personal técnico identificar los peligros, evaluar los riesgos y establecer los controles de dicho trabajo y así poder evitar algún accidente.
2. Al ingresar a un equipo se debe aplicar un procedimiento de bloqueo en la zona de energización.
3. En caso se requiera trabajar con el equipo energizado se deberá solicitar un letrero de equipo energizado colocándolo en una zona visible del equipo.

Una vez conocido esto se procederá a describir el procedimiento de inspección.

La inspección del equipo se realiza con el equipo apagado (bloqueando la zona de energización). Luego con apoyo de una herramienta de iluminación, como por ejemplo una linterna, se comienza a intervenir el equipo buscando señales de algún mecanismo de falla. Para el caso de identificación de fugas se requiere que sea antes del lavado del equipo, ya que cuando el equipo se encuentra con tierra es cuando se observan mejor los rastros de refrigerante, aceite o combustible.

Una vez que se ha identificado las fallas se procede a registrarlas en el formato de inspección. Si en caso no se pueda establecer por donde es la procedencia de alguna fuga que involucre un fluido, esto debido a que existen muchas zonas manchadas por este, se puede proceder a solicitar el arranque del equipo permitiéndonos ver el origen exacto de la fuga.

Para el caso de que se desee observar la rajadura del frame es mejor cuando el equipo ya salió del lavado facilitándonos la inspección, en donde es difícil el acceso como los soportes del enfriador de transmisión ubicados en el lado derecho del equipo, se puede hacer uso de un espejo. También se suele usar una wincha para la medida de la fisura y un plumón para hacerle una marca permitiendo de esta forma ver si la fisura aumento con el tiempo al sobrepasar la marca con el plumón.

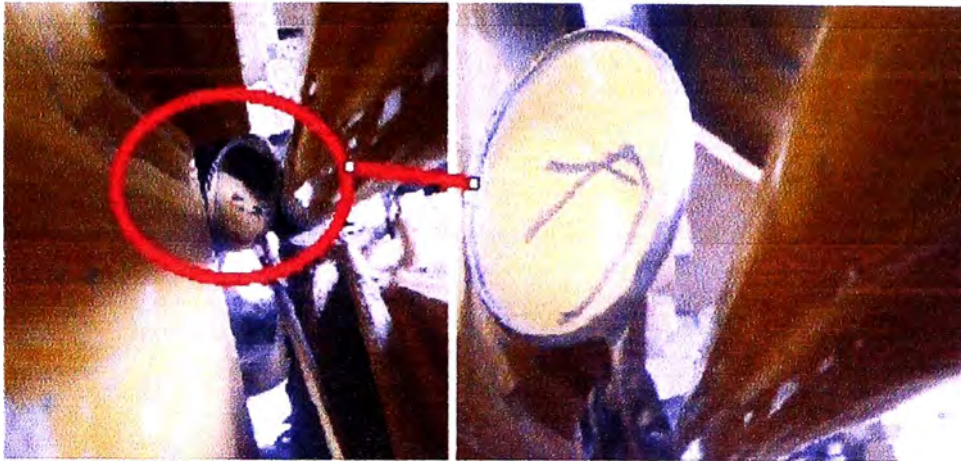


Figura N° 51 - Detección de fisura en el frame

Al finalizar la inspección el personal técnico deberá entregar el formato de inspección al analista de monitoreo de condiciones al cual le servirá para realizar un seguimiento de las fallas encontradas.

A continuación se muestra un diagrama donde se indica los tiempo estimados a demorarse por cada zona del camión (se tomo un tiempo de demora de un minuto y medio de inspección por cada punto mencionado en el formato de inspección). Como tenemos dos técnicos para inspeccionar cada uno inspeccionara un zona del equipo, realizando así inspecciones en paralelo

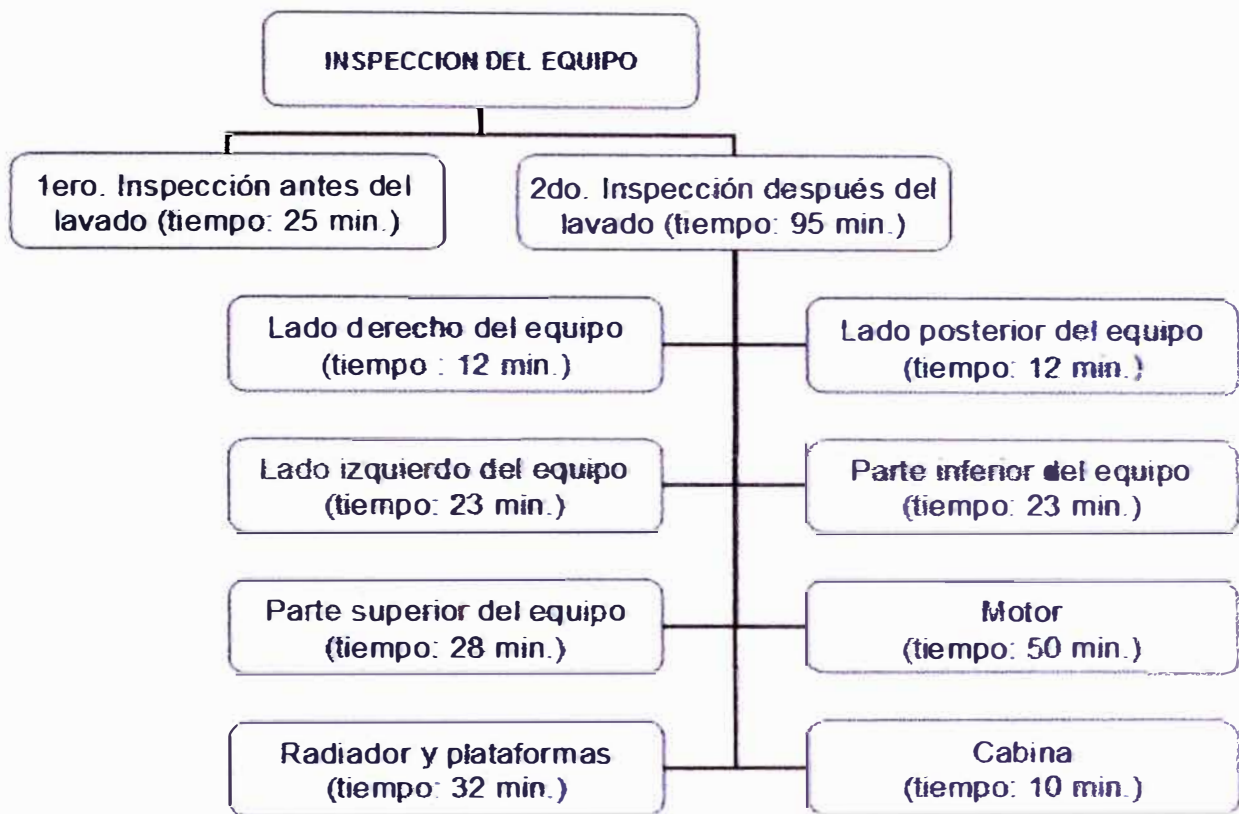


Figura N° 52 – Tiempos establecidos para la inspección del equipo.

4.4 FRECUENCIA DE INSPECCIONES

Para su estudio, se clasificarán en Inspecciones durante el PM (los PMs se dan cada 250 horas de trabajo del equipo) e Inspecciones entre PMs. Como información adicional se mencionarán las inspecciones diarias o de rutina las cuales no serán realizadas por parte Ferreyros S.A.

4.4.1 Inspecciones durante el PM

Durante el PM se realizará la inspección del equipo. Para este caso se puede aprovechar en realizar una inspección remota con boroscopio a la culata del motor (las condiciones que se tiene que presentar para que sea necesario

realizar este tipo de inspección a la culata, se mencionaron en el sub capítulo 4.2).

4.4.2 Inspecciones entre PMs

En este caso solo se realizara la inspección del equipo sabiendo que la mejor manera de hacerle seguimiento a fallas en progreso es a través de las inspecciones entre PMs, aprovechando así lo que algunos llaman “ventana de oportunidades”. Estas ventanas de oportunidades nos permiten hacer inspecciones sin la necesidad de hacer paradas operativas de los equipos. Un ejemplo de esta oportunidad es cuando los operadores de los equipos se detienen a almorzar, cuando se encuentran en stand by a la espera del funcionamiento de una pala averiada o cuando el equipo viene a taller por reparaciones imprevistas. Estas son unas buenas oportunidades para colocar un inspector y hacerle seguimiento a algún defecto que ya fue detectado en el PM cuya corrección puede ser programada en el próximo mantenimiento preventivo o si la falla es muy grave el equipo puede ser atendido de manera inmediata.

4.4.3 Inspecciones Diarias

Son esencialmente servicios de alta frecuencia y poca duración. Estas inspecciones se enfocan en verificación de niveles de aceite y engrase, lectura de relojes indicadores, etc. No requieren la detención del equipo, sino que deben llevarse a cabo durante los cambios de turnos o al principio y final, según correspondan. Debe hacerlos el operador de la máquina.

Una alternativa es que lo haga el personal del contratista que suministra el combustible durante el llenado de combustible en los grifos. En este proyecto lo realizaría el personal de Repsol, manejando ellos su hoja de registros que crean pertinente.

4.5 SEGUIMIENTO DEL PLAN DE INSPECCION VISUAL

Un plan de inspección comienza a arrojar datos de estados y condiciones que deben ser correctamente procesados, pues caso contrario, la falla podría ocurrir y tomar desprevenido al personal de mantenimiento y operación, quedando claro que si la información no es procesada no posee utilidad. Es decir debe tenerse la capacidad de procesar adecuadamente la información obtenida.

Es por ello que se debe llevar un control adecuado de los trabajos a realizarse, el cual nos permita:

- a. Conocer que trabajos faltan por ejecutarse y cuantos días le faltan por ejecutarse.
- b. Auditar a los inspectores, ya que algunas fallas no son detectadas en su inicio.
- c. Conocer si la falla fue detectada en el PM o antes del PM.
- d. Tener control de los backlogs realizados y de esta manera no repetir las órdenes de trabajo conocidas como MM.
- e. Establecer un seguimiento de la criticidad de las fallas.

Satisfaciendo esas necesidades se creo el siguiente cuadro de seguimiento:

Máquina	Fecha de generación	Fecha actual	Días sin ejecutar	PRE-PM	PM	Tecnico	Backlog	Se corrigio	Nivel de criticidad	MM	Descripción del tarea y/o falla
HT072	12/05/2013	13/12/2013	YA SE EJECUTO		X	L Venegas y A. Aljaga	Si	06/07/2013	2	MM226265	FUGA DE COMBUSTIBLE POR RETORNO
HT072	12/05/2013	13/12/2013	215		X	C.Lopez y S.Yarango	Si		2	MM226267	FUGA DE ACEITE POR EL MOTOR DE ENFRIAMIENTO.
HT072	12/05/2013	13/12/2013	215		X	C.Lopez y S.Yarango	Si		3	MM226369	FRACTURA DE PERNO DE CODO SALIENTE DE BOMBA DE ACEITE

Figura N° 53- Cuadro de seguimiento de tareas generados

De este cuadro también se puede obtener un seguimiento específico de una falla, es decir esto nos permitiría hacer una campaña de reparación para toda la flota permitiendo al cliente que la haga de acuerdo a su prioridad (en este caso sería los días que lleva la falla) y a sus recursos disponibles. Un ejemplo de esto es avisar al área de mantenimiento sobre la reparación del brazo central de dirección debido a la ausencia de sus pernos a través de un consolidado de esta falla en toda la flota.

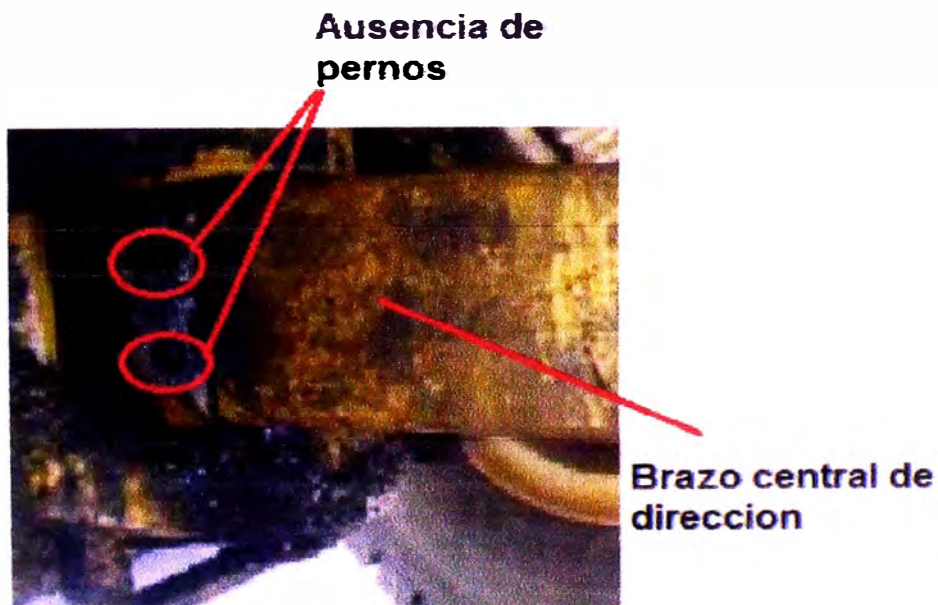

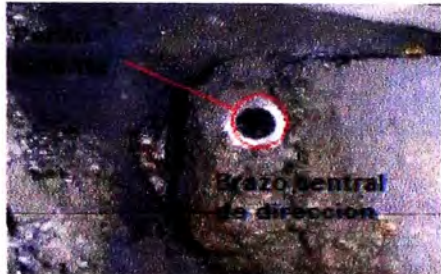





Figura N° 54- Ausencia de pernos en el brazo central de dirección

Equipo	Fecha de ultima inspección	Fecha de detección	Imágenes donde se muestra la ausencia de pernos en el brazo central de dirección	Días sin reparar
HT057	27/07/2013	01/07/2013		69
HT060	04/08/2013	04/08/2013		35
HT061	10/07/2013	01/06/2013		99
HT062	01/08/2013	24/06/2013		76
HT064	01/08/2013	14/05/2013		117



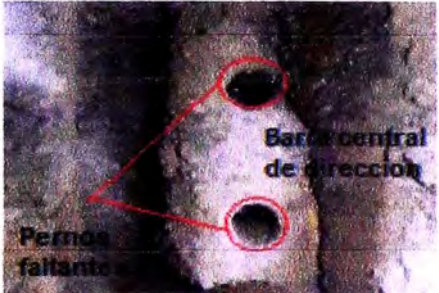
HT070	14/07/2013	27/06/2013		73
HT073	02/08/2013	30/07/2013		40
HT077	31/07/2013	05/06/2013		95

Figura N° 55 - Cuadro de seguimiento de equipos con problemas de desalineamiento de la barra de dirección por falta de pernos en el brazo central de dirección reportados en el 2013.

Este cuadro de seguimiento específico de un tipo de falla también nos permite avisar al área de especialistas para que consulte a fábrica si existe alguna mejora para que esta falla no vuelva a ocurrir.

La implementación de este plan de inspección visual será en el área de monitoreo de condiciones. A continuación se muestra el organigrama del departamento de mantenimiento.

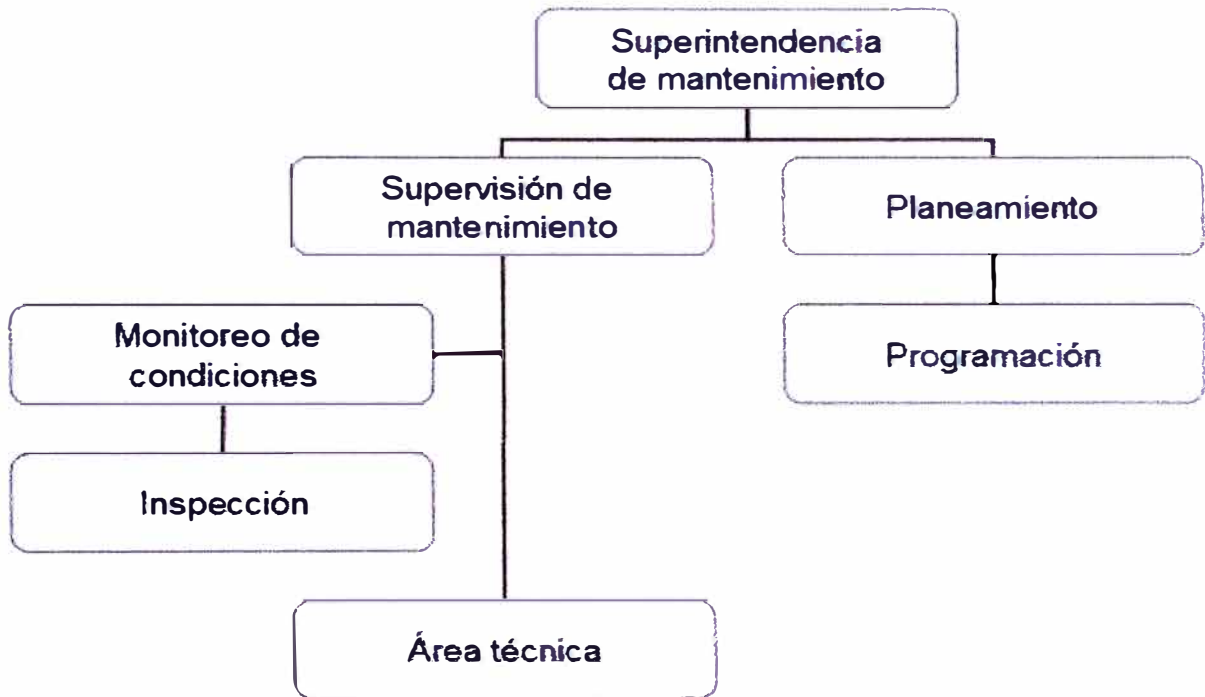


Figura N° 56 –Organigrama del departamento de mantenimiento.

CAPITULO V

EVALUACION ECONOMICA

La cobertura de garantía para los camiones mineros caterpillar es la siguiente:

Garantía maquina completa: 12 meses.

Garantía extendida de tren de potencia (esto involucra al motor, convertidor, transmisión, diferencial y mandos finales): 24 meses o 10000 Hrs.

Siendo su inicio en la fecha de entrega al cliente (Delivery date).

Conociendo esto establecemos que el escenario económico donde nos encontramos es a finales del 2012, cuando ya venció la garantía de los equipos, es por ello que tendremos en cuenta que los repuestos a ser cambiados serán dados por el cliente y no por Ferreyros.

5.1 COSTOS DE IMPLEMENTACION

Consideraciones a tomar en cuenta para la implementación:

1. Régimen de Supervisores de inspección o Analistas de monitoreo: 8x6. (En total son 2).
2. Los mecánicos que realizan la inspección son de nivel 3.
3. Régimen de los Inspectores o Mecánicos nivel 3: 10x10 (En total son 8 mecánicos).

4. Horas diarias trabajadas: 12.

De estas consideraciones podemos obtener lo siguiente:

Analizando la mano de obra		
Cargo del puesto	Salario(soles)x12 horas diarias	HH(soles)
Técnico nivel 3	2400	13.3
Analista de monitoreo (Supervisor de inspecciones)	3500	16.2

5.1.1 Costo de Inversión

La Inversión total involucra los costos de capacitación y los costos de las herramientas a usar.

5.1.1.1 Costo de Capacitación

Los costos de capacitación incluyen los siguientes costos:

- a.1. Costos empleados en la enseñanza de los cursos.
- a.2. Viáticos empleados en los cursos.

a.1 Costos empleados en la enseñanza de los cursos:

Consideraciones adicionales a tener en cuenta:

1. Las capacitaciones son fuera del horario de trabajo.
2. Los cursos son llevados en las ciudades donde vive cada personal (por ello no se le paga estadía).
3. No se considera el costo de la capacitación como hombre nuevo para ingreso a minera Antamina (eso lo paga el proyecto minero).

- **Curso de mantenimiento preventivo de camiones mineros (Tiempo:16Hrs)**

Cargo del puesto	cantidad	Costo de sobretiempo(soles)
Técnico nivel 3	8	1706.7
Analista de monitoreo (Supervisor de inspecciones)	2	518.5
Costo de suscripción por persona	cantidad de personal	Costo total(soles)
500	10	5000.0

El costo asciende a 7225.2 soles.

- **Curso de Electricidad 2 y 3 (Tiempo:40 Hrs)**

Cargo del puesto	cantidad	Costo de sobretiempo(soles)
Técnico nivel 3	8	4266.7
Analista de monitoreo (Supervisor de inspecciones)	2	1296.3
Costo de suscripción por persona	cantidad de personal	Costo total(soles)
1250	10	12500.0

El costo asciende a 18063 soles.

- **Curso de hidráulica 2 y 3 (Tiempo:40 Hrs)**

Cargo del puesto	cantidad	Costo de sobretiempo(soles)
Técnico nivel 3	8	4266.7
Analista de monitoreo (Supervisor de inspecciones)	2	1296.3
Costo de suscripción por persona	cantidad de personal	Costo total(soles)
1250	10	12500.0

El costo asciende a 18063 soles.

- **Curso de Tren de potencia 2 y3 (Tiempo:40 Hrs)**

Cargo del puesto	cantidad	Costo de sobretiempo(soles)
Técnico nivel 3	8	4266.7
Analista de monitoreo (Supervisor de inspecciones)	2	1296.3
Costo de suscripción por persona	cantidad de personal	Costo total(soles)
1250	10	12500.0

El costo asciende a 18063 soles.

- **Curso introductivo de motores C175 (Tiempo:24 Hrs)**

Cargo del puesto	cantidad	Costo de sobretiempo(soles)
Técnico nivel 3	8	2560.0
Analista de monitoreo (Supervisor de inspecciones)	2	777.8
Costo de suscripción por persona	cantidad de personal	Costo total(soles)
750	10	7500.0

El costo asciende a 10837.8 soles.

- **Curso de motores III. Sistema de Combustible Electrónicos.
(Tiempo:40 Hrs)**

Cargo del puesto	cantidad	Costo de sobretiempo(soles)
Técnico nivel 3	8	4266.7
Analista de monitoreo (Supervisor de inspecciones)	2	1296.3
Costo de suscripción por persona	cantidad de personal	Costo total(soles)
1250	10	12500.0

El costo asciende a 18063 soles.

- **Curso básico de operaciones, pruebas y ajustes de CAMIONES de la serie F (Tiempo:40 Hrs)**

Cargo del puesto	cantidad	Costo de sobretiempo(soles)
Técnico nivel 3	8	4266.7
Analista de monitoreo (Supervisor de inspecciones)	2	1296.3
Costo de suscripción por persona	cantidad de personal	Costo total(soles)
1250	10	12500.0

El costo asciende a 18063 soles.

La suma de todos estos costos asciende a un monto de 108377.8 soles.

a.2. Viáticos empleados en los cursos:

Cargo del puesto	Movilidad x día (ida-vuelta)	Alimentación x día	Cantidad de personal	Días empleados	Costo total (soles)
Técnico nivel 3	40	25	8	30	15600
Analista de monitoreo (Supervisor de inspecciones)	40	25	2	30	3900

El costo empleado en los viáticos asciende a un monto de 19500 soles.

El costo total de la Inversión en la capacitación será hallado como la sumatoria de los costos calculados en los puntos a.1 y a.2 dándonos el valor de 127877.8 soles.

5.1.1.2 Costo de Herramientas

Consideraciones adicionales a tener en cuenta:

- 1.- Tipo de cambio: 2.85.
- 2.- Precios incluye IGV.

Listado de herramientas para la inspección			
Nombre del equipo	cantidad	costo (dólares)	costo (Soles)
1. Boroscopio	1	35600	101460
2. Wincha + espejo + plumón	1	14	39.9
3. Costo de EPPS (casco, lentes, guantes, botas, mamelucos, etc)	1	1500	4275

El costo asciende a un monto de **105774.9 soles**.

INVERSION = COSTO DE CAPACITACION + COSTO DE HERRAMIENTAS

INVERSION = 127877.8 + 68154.9 = **233652.7 soles**.

5.1.2 Costo de Mano de Obra Directa

El costo de mano de obra directa involucra los costos de jornada laboral y los costos de estadía en mina.

Consideraciones adicionales a tener en cuenta:

- 1.- Ingresan 28 camiones a PM en un mes y a 2 se le hacen seguimiento de fallas en campo en un mes.
- 2.- Cantidad de horas empleadas en una inspección: 4 horas (no se consideran tiempos de demora).
- 3.- Trabajan en cada inspección de un camión: 2 mecánicos y 1 Supervisor de inspecciones.
- 4.- En un mes ingresan a trabajar:
 - a.- 2 Supervisores de inspección en un régimen de 8x6 (los 8 días de día).
 - b.- 8 mecánicos en un régimen de 10x10 (5 de día y 5 de noche).

5.1.2.1 Costo de Jornada Laboral Mensual

Cargo del puesto	Cantidad de personal	Horas empleadas x camión	Inspección de camiones x mes	Costo total (soles)
Técnico nivel 3	2	2	30	3200
Analista de monitoreo (Supervisor de inspecciones)	1	2	30	1944.4

El costo que involucra la jornada laboral asciende a 2572.2 soles.

5.1.2.2 Costo mensual de estadía en mina.

Cargo del puesto	Cantidad total de personal	Bono minero + bono nocturno	Alimentación	Estadía	Costo Total
Técnico nivel 3	8	700	450	1000	17200
Analista de monitoreo (Supervisor de inspecciones)	2	600	450	1000	4100

El costo que involucra la estadía en mina asciende a 21300 soles.

COSTO DE MANO DE OBRA DIRECTA MENSUAL = COSTO DE JORNADA LABORAL MENSUAL + COSTO MENSUAL DE ESTADIA EN MINA.

$$\begin{aligned} \text{COSTO DE MANO DE OBRA DIRECTA MENSUAL} &= 2572.2 + 21300 \\ &= \underline{\underline{23872.2 \text{ soles}}} \end{aligned}$$

5.2 BENEFICIOS DE LA IMPLEMENTACION

Mencionaremos los principales beneficios de implementar el plan de inspección visual.

5.2.1 Venta de repuestos

El hecho de que un equipo se encuentre fuera de garantía, nos permite vender repuestos (estos repuestos pueden ser desde mangueras hasta componentes) y el haber llevado un control de estos repuestos, a través de una solicitud de repuestos que se encuentra incluido en el tareo de los técnicos, que han sido cambiados debido a problemas encontrados durante una inspección visual nos permite solicitar al área de logística el monto de ingresos que generaron las ventas de estos repuestos. Por lo tanto la siguiente tabla muestra los ingresos mensuales generados por la venta de estos repuestos desde el mes de Octubre del 2012 hasta el mes de Junio del 2013.

REPUESTOS NECESARIOS PARA LA TAREA (REQUIREMENTS)				
Cantidad	Unidad	Número de parte	Stock Code	Descripcion

Figura N° 57 – Solicitud de repuestos

Consideración a tomar en cuenta:

1.- Tipo de cambio: 2.85

Meses	Año	Ingresos (dólares)	Ingresos (dólares)
Octubre	2012	20320	57912
Noviembre	2012	31712	90379
Diciembre	2012	18117	51633

Enero	2013	31040	88464
Febrero	2013	25360	72276
Marzo	2013	32201	91773
Abril	2013	41708	118868
Mayo	2013	23768	67739
Junio	2013	36159	103053

5.2.2 Análisis de Indicadores

Antes de hallar y presentar los indicadores que se han tomado en cuenta para realizar el análisis económico se necesita conocer el flujo de caja, es decir mostrar los costos usados y los ingresos generados en un periodo de tiempo permitiéndonos de esta manera conocer a través de su resta las ganancias en dicho periodo.

INVERSION INICIAL				233653
Mes	Año	Ingresos	Gastos	Flujo de caja neto(soles)
Octubre	2012	57912	23872	34040
Noviembre	2012	90379.2	23872	66507
Diciembre	2012	51633.45	23872	27761
Enero	2013	88464	23872	64592
Febrero	2013	72276	23872	48404
Marzo	2013	91772.85	23872	67901
Abril	2013	118867.8	23872	94996
Mayo	2013	67738.8	23872	43867
Junio	2013	103053.15	23872	79181

Ahora a continuación mostramos la ficha y resultado de los indicadores los cuales nos dirán cuan rentable es el plan de inspección visual que es objeto de nuestro estudio.

5.2.2.1 TIR (Taza interna de retorno)

En la siguiente ficha mostramos su definición y meta trazada.

Título:	TIR		
Objetivo:	Medir la tasa de interés máxima a la que es posible endeudarse para financiar el plan de inspección		
Unidad:	%	Oportunidad de Medición	31 de cada mes
Formula / Criterio para el cálculo:	$\frac{BN_1}{(1+TIR)^1} + \frac{BN_2}{(1+TIR)^2} + \dots + \frac{BN_n}{(1+TIR)^n} - I = 0$		
Fuente / Proceso de obtención:	TIR = es aquella tasa de descuento que hace el VAN igual a cero. BN_n : beneficio neto (ingresos menos egresos) del periodo n I : inversión inicial		
Responsable de Cumplimiento	Supervisores de Inspección		
Responsable de datos reales	ÁREA DE ADMINISTRACIÓN Y ÁREA DE LOGÍSTICA		
Semáforos			
Verde		Rojo	
>= Taza de interés bancario		< Taza de interés bancario	

Aplicando la fórmula establecida el TIR para ese periodo de tiempo nos da un valor del **18%**, el cual es mucho mayor a una tasa de interés bancario indicándonos que el proyecto es rentable.

5.2.2.2 VAN (Valor actual neto)

En la siguiente ficha mostramos su definición y meta trazada.

Título:	VAN		
Objetivo:	Ver si es factible poner en marcha el plan de inspección.		
Unidad:	soles	Oportunidad de Medición	31 de cada mes
Formula / Criterio para el cálculo:	$VAN = \frac{BN_1}{(1+i)^1} + \frac{BN_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{BN_n}{(1+i)^n} - I$		
Fuente / Proceso de obtención:	BN_n : beneficio neto (ingresos menos egresos) del periodo n I : inversión inicial i : tasa de descuento (costo de oportunidad del capital)		
Responsable de Cumplimiento	Supervisores de Inspección		
Responsable de datos reales	ÁREA DE ADMINISTRACIÓN Y ÁREA DE LOGÍSTICA		
Semáforos			
Verde		Rojo	
> 0		< 0	

Aplicando una tasa de descuento mensual del 2% se obtienen los valores actuales de cada ganancia.

INVERSION=233653 soles	
Flujo de caja neto(soles)	2%
34040	33372
66507	63924
27761	26160
64592	59673
48404	43841
67901	60294
94996	82699
43867	37440
79181	66255

Teniendo estos valores obtenemos el VAN del periodo establecido, el cual es 240006 soles, indicándonos que el plan de inspección visual es rentable.

5.2.2.3 Rentabilidad

En la siguiente ficha mostramos su definición y meta trazada.

Título:	Rentabilidad		
Objetivo:	Medir la rentabilidad de la ejecución del plan		
Unidad:	%	Oportunidad de Medición	31 de cada mes
Formula / Criterio para el cálculo:	$\% \text{ Rentabilidad} = \text{Ganancia} / \text{Inversión}$		
Fuente / Proceso de obtención:	Ganancia: Utilidades que se generaron en un periodo de tiempo. Inversión: Capital que sirve para empezar el plan		
Responsable de Cumplimiento	Supervisores de Inspección		
Responsable de datos reales	ÁREA DE ADMINISTRACIÓN Y ÁREA DE LOGÍSTICA		
Semaforos			
Verde		Rojo	
>rentabilidad que da un plazo fijo(8%)		<=rentabilidad que da un plazo fijo(8%)	

Hallando la rentabilidad durante todo el periodo establecido, esta nos da un valor del 11%, mostrándonos que el plan de inspección visual es rentable.

5.2.2.4 Tiempo de retorno de la inversión

En la siguiente ficha mostramos su definición y meta trazada.

Título:	TIEMPO DE RETORNO DE LA INVERSION		
Objetivo:	Medir el tiempo de retorno de la inversión		
Unidad:	meses	Oportunidad de Medición:	31 del primer mes
Formula / Criterio para el cálculo:	$\sum_{n=1}^T BN_n = I$		
Fuente / Proceso de obtencion:	donde T es el número de periodos necesarios para recuperar la inversión. BN_n : beneficio neto (ingresos menos egresos) del periodo n I : inversión inicial		
Responsable de Cumplimiento:	Supervisores de Inspeccion		
Responsable de datos reales:	AREA DE ADMINISTRACION Y AREA DE LOGISTICA		
Semaforos			
Verde			Rojo
<=6 meses			>6 meses

A continuación calculamos en que mes recuperamos la Inversión:

Halleemos el tiempo de retorno			
Meses	Flujo de caja neto(soles)	Inversión	233653
Mes 1	34040	queda	199613
Mes 2	66507	queda	133106
Mes 3	27761	queda	105345
Mes 4	64592	queda	40753
Mes 5	48404	GANA	7651

Se concluye que al quinto mes se recupera la inversión.

5.2.3 Disminución de las Frecuencia de Paradas no Programadas

Si bien es cierto el objetivo aun no se cumple, esto debido a la aparición de nuevos tipos de fallas cuyos causales aun no son identificadas por el área de mantenimiento, se ah podido reducir los porcentajes existentes de paradas no programadas. Esta información fue solicitada al área de confiabilidad.



Figura N° 58 - Promedio de la frecuencia de paradas programadas Vs. no programadas en la primera mitad de año del 2013.

CONCLUSIONES

- 1.- El proceso de implementación de un plan de inspección visual involucra evaluar las fallas más probables y los tipos de daño asociados a estas fallas, permitiendo así al área de mantenimiento a través de esta evaluación mejorar la condición del equipo que es sujeto de nuestra inspección.
- 2.- El desajuste de pernos se produce muchas veces por no realizar el ajuste adecuado que indica el manual de servicio, siendo este ajuste directamente proporcional al tamaño de la rosca.
- 3.- Se logra recuperar la inversión al quinto mes de la implementación del plan de inspección visual, esto es debido a los altos ingresos que llegaron a generar la venta de repuestos por parte del área de logística con el fin de solucionar los problemas encontrados durante las inspecciones.
- 4.- La frecuencia de paradas no programadas del 2011 era de un 72%, luego de la implementación de la inspección visual se logro reducir para la primera mitad del año 2013 a un 58%.

RECOMENDACIONES

- 1.- El personal que realice este trabajo debe ser técnicamente calificado porque de esta forma luego de identificar la falla podrá analizar la causa raíz que esta ocasionando dicha falla y finalmente dar la mejor solución correctiva.
- 2.- Es recomendable realizar el ajuste de los pernos pertenecientes a: los pines de la suspensión posterior, la guarda del carter, el brazo central de dirección, los cojinetes del motor y al múltiple de escape. Estos ajustes son los que manda las especificaciones del manual de servicio.
- 3.- Se recomienda evaluar la criticidad de la fuga antes de que sea registrada en el formato de lista de chequeo. Esta criticidad es definida como leve, moderado o grave.
- 4.- Se recomienda realizar un monitoreo de las fallas encontradas, el cual permita enviar una alerta a toda el área de mantenimiento en el caso de que alguna falla se encuentre crítica.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Meeting guide 793F en español - Caterpillar Inc, Junio 2009.
- 2.- Prolongación de la durabilidad de los componentes. Mandos finales y diferenciales - Caterpillar Inc, Marzo 2004. Impreso en EE.UU.
- 3.- Caterpillar. Búsqueda del medio - KSNR8738 - 793F Camión de Obras Sistema de frenos. Fecha de publicación 01/01/2010 {Fecha de actualización 05/04/2011}. Disponible en: <https://sis.cat.com>.
- 4.- <http://www.tecnatom.es>.
- 5.- <http://www.horizonteminero.com/articulos/amineria/470-inician-fase-8-en-antamina.html>.
- 6.- Folleto (ASHQ6038-03) 793F Camión de minería. Disponible en: <http://www.ferreyros.com.pe>.

ANEXOS

Especificaciones de Pares de Apriete

Especificaciones de par

Número de medio -SSNR3130-13

Fecha de publicación -01/01/2012

Fecha de actualización -04/07/2012

i03530917

Tornillería inglesa (SAE)

SMCS - 7553

Pernos y tuercas (SAE) ingleses

[Ver imagen](#)

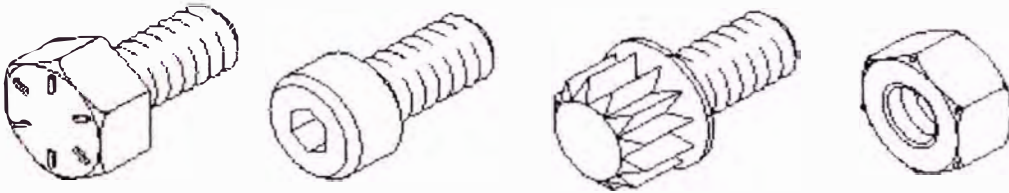


Ilustración 1

g00908911

Tabla 1

Tamaño de la rosca Pulgada	Par de apriete
1/4	12 ± 3 N·m (105 ± 27 lb pulg)
5/16	25 ± 6 N·m (220 ± 53 lb pulg)
3/8	47 ± 9 N·m (35 ± 7 lb pie)
7/16	70 ± 15 N·m (50 ± 11 lb pie)
1/2	105 ± 20 N·m (75 ± 15 lb pie)
9/16	160 ± 30 N·m (120 ± 22 lb pie)
5/8	215 ± 40 N·m (160 ± 30 lb pie)

3/4	370 ± 50 N·m (275 ± 37 lb pie)
7/8	620 ± 80 N·m (460 ± 60 lb pie)
1	900 ± 100 N·m (660 ± 75 lb pie)
1 1/8	1300 ± 150 N·m (960 ± 110 lb pie)
1 1/4	1800 ± 200 N·m (1320 ± 150 lb pie)
1 3/8	2400 ± 300 N·m (1780 ± 220 lb pie)
1 1/2	3100 ± 350 N·m (2280 ± 260 lb pie)

Prisioneros de traba (SAE) ingleses

Tabla 2

Tamaño de la rosca Pulgada	Par de apriete estándar
1/4	8 ± 3 N·m (70 ± 27 lb pulg)
5/16	17 ± 5 N·m (150 ± 44 lb pulg)
3/8	35 ± 5 N·m (26 ± 4 lb pie)
7/16	45 ± 10 N·m (33 ± 7 lb pie)
1/2	65 ± 10 N·m (48 ± 7 lb pie)
5/8	110 ± 20 N·m (80 ± 15 lb pie)
3/4	170 ± 30 N·m (125 ± 22 lb pie)
7/8	260 ± 40 N·m (190 ± 30 lb pie)
1	400 ± 60 N·m (300 ± 44 lb pie)

1 1/8	525 ± 60 N·m (390 ± 44 lb pie)
1 1/4	750 ± 80 N·m (550 ± 60 lb pie)
1 3/8	950 ± 125 N·m (700 ± 90 lb pie)
1 1/2	1200 ± 150 N·m (880 ± 110 lb pie)

Tornillos de máquina (SAE) ingleses

[Ver imagen](#)

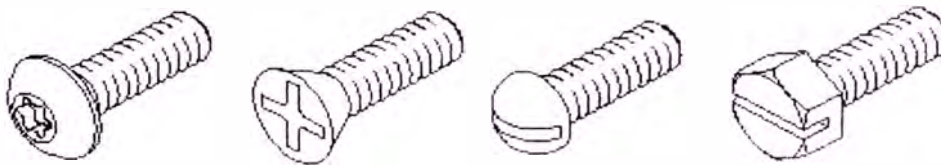


Ilustración 2

g00908932

Tabla 3

Tamaño de la rosca No.	Par de apriete
0-80	0,10 ± 0,01 N·m (0,9 ± 0,1 lb pulg)
1-64	0,15 ± 0,01 N·m (1,3 ± 0,1 lb pulg)
2-56	0,25 ± 0,02 N·m (2,2 ± 0,2 lb pulg)
3-48	0,35 ± 0,05 N·m (3,1 ± 0,4 lb pulg)
4-40	0,50 ± 0,05 N·m (4,4 ± 0,4 lb pulg)
5-40	0,70 ± 0,10 N·m (6,2 ± 0,9 lb pulg)

6-32	$0,90 \pm 0,10 \text{ N}\cdot\text{m}$ ($8 \pm 0,9 \text{ lb pulg}$)
8-32	$1,70 \pm 0,25 \text{ N}\cdot\text{m}$ ($15 \pm 2,2 \text{ lb pulg}$)
10-24	$2,25 \pm 0,25 \text{ N}\cdot\text{m}$ ($19,9 \pm 2,2 \text{ lb pulg}$)
12-24	$3,40 \pm 0,60 \text{ N}\cdot\text{m}$ ($30,1 \pm 5,3 \text{ lb pulg}$)

Tornillos de ajuste y tornillos de cabeza redonda hexagonales

[Ver imagen](#)



Ilustración 3

g01186972

Tabla 4

Tamaño de la rosca pulgada	Par de apriete
# 4 & #5	$.6 \pm .1 \text{ N}\cdot\text{m}$ ($5 \pm 0,9 \text{ lb pulg}$)
#6 & #8	$2 \pm .3 \text{ N}\cdot\text{m}$ ($18 \pm 3 \text{ lb pulg}$)
#10 & #12	$4 \pm .5 \text{ N}\cdot\text{m}$ ($35 \pm 4 \text{ lb pulg}$)
1/4	$6 \pm 1 \text{ N}\cdot\text{m}$ ($55 \pm 9 \text{ lb pulg}$)
5/16	$13 \pm 3 \text{ N}\cdot\text{m}$ ($115 \pm 27 \text{ lb pulg}$)
3/8	$25 \pm 6 \text{ N}\cdot\text{m}$ ($220 \pm 53 \text{ lb pulg}$)

7/16	40 ± 8 N·m (20 ± 6 lb pie)
1/2	60 ± 12 N·m (44 ± 9 lb pie)
9/16	85 ± 15 N·m (65 ± 11 lb pie)
5/8	115 ± 20 N·m (85 ± 15 lb pie)
3/4	200 ± 40 N·m (150 ± 30 lb pie)
7/8	325 ± 40 N·m (240 ± 30 lb pie)
1	500 ± 65 N·m (370 ± 48 lb pie)
1 1/8	700 ± 90 N·m (520 ± 65 lb pie)
1 1/4	1000 ± 125 N·m (740 ± 90 lb pie)
1 3/8	1300 ± 150 N·m (960 ± 110 lb pie)
1 1/2	1700 ± 200 N·m (1260 ± 150 lb pie)

Especificaciones de Pares de Apriete

Especificaciones de par

Número de medio -SSNR3130-13

Fecha de publicación -01/01/2012

Fecha de actualización -04/07/2012

i03530913

Tornillería métrica (ISO)

SMCS - 7553

Pernos y tuercas (ISO) métricas

[Ver imagen](#)

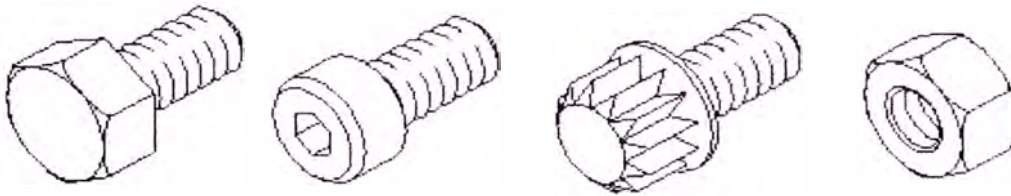


Ilustración 1

g00909614

Nota: La siguiente tabla incluye los valores de par de apriete estándar recomendados para tuercas y pernos métricos que se utilizan en todos los equipos Caterpillar y motores Mitsubishi.

Tabla 1

Tamaño de la rosca mm	Par de apriete
M6	12 ± 3 N·m (105 ± 27 lb pulg)
M8	28 ± 7 N·m (250 ± 62 lb pulg)
M10	55 ± 10 N·m (41 ± 7 lb pie)
M12	100 ± 20 N·m (75 ± 15 lb pie)
M14	160 ± 30 N·m (120 ± 22 lb pie)
M16	240 ± 40 N·m (175 ± 30 lb pie)

M20	460 ± 60 N·m (340 ± 44 lb pie)
M24	800 ± 100 N·m (590 ± 75 lb pie)
M30	1600 ± 200 N·m (1180 ± 150 lb pie)
M36	2800 ± 350 N·m (2060 ± 260 lb pie)

Nota: La siguiente tabla incluye los valores de par de apriete estándar recomendados para tuercas y pernos métricos que se usan en motores Perkins.

Tabla 2

Tamaño de la rosca mm	Par de apriete
M6	5 N·m (44 lb pulg)
M8	22 N·m (195 lb pulg)
M10	44 N·m (32 lb pie)
M12	78 N·m (60 lb pie)
M14	124 N·m (90 lb pie)
M16	177 N·m (130 lb pie)
M18	200 N·m (150 lb pie)
M20	400 N·m (300 lb pie)
M24	790 N·m (580 lb pie)

Nota: La diferencia entre los valores de par de apriete estándar de Caterpillar y de Perkins se debe a diferentes clases de tornillería. Caterpillar usa tornillería de clase 10,9. Perkins usa tornillería de clase 8,8. Las diferentes clases de tornillería poseen distintas intensidades de tensión.

Prisioneros de traba (ISO) métricos

Nota: La siguiente tabla incluye los valores de par de apriete estándar recomendados para los

prisioneros de traba métricos que se usan en todos los equipos Caterpillar y motores Mitsubishi.

Tabla 3

Tamaño de la rosca mm	Par de apriete
M6	$8 \pm 3 \text{ N}\cdot\text{m}$ ($71 \pm 27 \text{ lb pulg}$)
M8	$17 \pm 5 \text{ N}\cdot\text{m}$ ($150 \pm 44 \text{ lb pulg}$)
M10	$35 \pm 5 \text{ N}\cdot\text{m}$ ($26 \pm 4 \text{ lb pie}$)
M12	$65 \pm 10 \text{ N}\cdot\text{m}$ ($48 \pm 7 \text{ lb pie}$)
M16	$110 \pm 20 \text{ N}\cdot\text{m}$ ($80 \pm 15 \text{ lb pie}$)
M20	$170 \pm 30 \text{ N}\cdot\text{m}$ ($125 \pm 22 \text{ lb pie}$)
M24	$400 \pm 60 \text{ N}\cdot\text{m}$ ($300 \pm 44 \text{ lb pie}$)
M30	$750 \pm 80 \text{ N}\cdot\text{m}$ ($550 \pm 60 \text{ lb pie}$)
M36	$1200 \pm 150 \text{ N}\cdot\text{m}$ ($880 \pm 110 \text{ lb pie}$)

Nota: La siguiente tabla incluye los valores de par de apriete estándar recomendados para los prisioneros de traba métricos que se usan en los motores Perkins.

Tabla 4

Tamaño de la rosca mm	Par de apriete
M6	$5 \text{ N}\cdot\text{m}$ (44 lb pulg)
M8	$11 \text{ N}\cdot\text{m}$ (97 lb pulg)
M10	$18 \text{ N}\cdot\text{m}$ (160 lb pulg)
M12	$25 \text{ N}\cdot\text{m}$ (220 lb pulg)

Tornillos de máquina (ISO) métricos

[Ver imagen.](#)

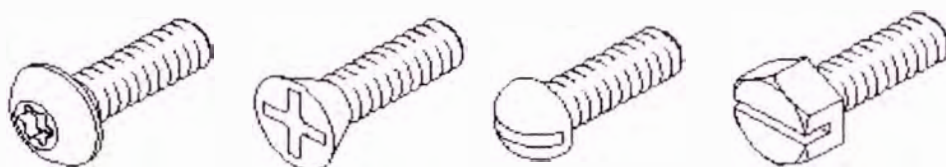


Ilustración 2

g00908932

Tabla 5

Tamaño de la rosca mm	Par de apriete
M1,6	$0,10 \pm 0,01 \text{ N}\cdot\text{m}$ ($0,9 \pm 0,1 \text{ lb pulg}$)
M2	$0,15 \pm 0,01 \text{ N}\cdot\text{m}$ ($1,3 \pm 0,1 \text{ lb pulg}$)
M2,5	$0,35 \pm 0,05 \text{ N}\cdot\text{m}$ ($3,1 \pm 0,4 \text{ lb pulg}$)
M3	$0,50 \pm 0,05 \text{ N}\cdot\text{m}$ ($4,4 \pm 0,4 \text{ lb pulg}$)
M4	$1,70 \pm 0,25 \text{ N}\cdot\text{m}$ ($15 \pm 2,2 \text{ lb pulg}$)
M5	$2,25 \pm 0,25 \text{ N}\cdot\text{m}$ ($19,9 \pm 2,2 \text{ lb pulg}$)

Tornillos de ajuste y tornillos de cabeza redonda hexagonales

[Ver imagen.](#)



Ilustración 3

g01186742

Tabla 6

Tamaño de la rosca mm	Par de apriete
M3	$.6 \pm .1 \text{ N}\cdot\text{m}$ ($5 \pm 0,9 \text{ lb pulg}$)
M4	$2 \pm .3 \text{ N}\cdot\text{m}$ ($18 \pm 3 \text{ lb pulg}$)
M5	$4 \pm .5 \text{ N}\cdot\text{m}$ ($35 \pm 4 \text{ lb pulg}$)
M6	$6 \pm 1 \text{ N}\cdot\text{m}$ ($55 \pm 9 \text{ lb pulg}$)
M8	$15 \pm 2 \text{ N}\cdot\text{m}$ ($135 \pm 18 \text{ lb pulg}$)
M10	$30 \pm 7 \text{ N}\cdot\text{m}$ ($265 \pm 62 \text{ lb pulg}$)
M12	$50 \pm 10 \text{ N}\cdot\text{m}$ ($37 \pm 7 \text{ lb pie}$)
M14	$80 \pm 15 \text{ N}\cdot\text{m}$ ($60 \pm 11 \text{ lb pie}$)
M16	$125 \pm 20 \text{ N}\cdot\text{m}$ ($90 \pm 15 \text{ lb pie}$)
M20	$250 \pm 40 \text{ N}\cdot\text{m}$ ($185 \pm 30 \text{ lb pie}$)
M24	$425 \pm 50 \text{ N}\cdot\text{m}$ ($310 \pm 37 \text{ lb pie}$)
M30	$850 \pm 100 \text{ N}\cdot\text{m}$ ($620 \pm 75 \text{ lb pie}$)
M36	$1500 \pm 200 \text{ N}\cdot\text{m}$ ($1100 \pm 150 \text{ lb pie}$)

Copyright 1993 - 2013 Caterpillar Inc.
Todos los derechos reservados.
Red privada para licenciados del SIS.

Sun Dec 15 20:37:42 EST 2013