

MODELO DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM PARA LAS REPARACIONES
DE LOS MOTORES CUMMINS QSK45, 50 Y 60 REPARADOS POR LA
EMPRESA CARBONES DEL CERREJÓN, LTD

EUDES RAFAEL DE ARMAS ITURRIAGO
ARMANDO JOSÉ GONZALEZ MONTERO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2017

MODELO DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM PARA LAS REPARACIONES
DE LOS MOTORES CUMMINS QSK45, 50 Y 60 REPARADOS POR LA
EMPRESA CARBONES DEL CERREJÓN, LTD

EUDES RAFAEL DE ARMAS ITURRIAGO
ARMANDO JOSÉ GONZALEZ MONTERO

Monografía de grado presentada como requisito para optar el título de Especialista
en Gerencia de mantenimiento

Director: LEANDRO PALMA
Especialista en Gerencia de Mantenimiento

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2017

AGRADECIMIENTOS

En la vida los esfuerzo traen consigo recompensas, cuando se mira atrás está la satisfacción de los logros alcanzados por lo que trabajamos y nos preparamos, cuando miramos al futuro debemos visualizar siempre las metas y anhelos propuestos, nunca desfallecer es la una de las principales premisas de la vida. Razón por la cual damos gracias a DIOS por darnos la oportunidad de estudiar esta especialización y dejarnos enriquecer nuestro conocimiento.

A nuestros padres quienes fueron el motor que nos impulsaron para que siguiéramos creciendo como personas y profesionales.

A nuestros familiares quienes siempre nos brindan apoyo para logras nuestras metas y hacer realidad nuestros sueños.

A las compañía con las cuales laboramos por darnos el espacio para realizar los estudios y dejar que aportemos nuestros conocimientos en ellas.

CONTENIDO

	Pag.
INTRODUCCIÓN	14
1. CONTEXTO DEL PROYECTO	15
1.1 CARBONES DEL CERREJÓN, LTD.	15
1.1.1 Proceso Minería de estéril.	16
1.1.2 Proceso Minería de Carbón.	17
1.2 MOTORES CUMMINS.....	19
1.2.1 Historia de Empresa Cummins.....	19
1.2.2 Negocios Cummins.	21
1.2.2.1 Cummins Filtración	21
1.2.3 Cummins en cerrejón	22
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	31
1.4 OBJETIVOS.....	33
1.4.1 Objetivo general.	33
1.4.2 Objetivos específicos	33
1.5 JUSTIFICACIÓN.....	33
2. MARCO TEORICO	35
2.1 MANTENIMIENTO.....	35
2.1.1 Mantenimiento Preventivo	36
2.1.2 Mantenimiento Predictivo.....	37

2.1.3	Mantenimiento Correctivo	38
2.2	RCM.....	39
2.2.1	Las 7 preguntas claves	40
2.2.2	Resultados del RCM	41
2.3	MOTORES DIESEL.....	44
3.	HOJAS DE DATOS AMFE.....	¡Error! Marcador no definido.
3.1	ANÁLISIS DE HOJAS DE DATOS AMFE.....	45
3.2	MANTENIMIENTO DE MOTORES DIÉSEL .	¡Error! Marcador no definido.
3.2.1	Inspecciones visuales	46
3.2.2	Mantenimiento preventivo programado.....	46
4.	MODELO PROPUESTO.....	47
4.1	ACTIVIDADES REALIZADAS:.....	47
4.1.1	Requerimientos al Cliente	47
4.1.2	Plan de Trabajo.....	48
4.2	REVISIONES EN CAMPO.....	48
4.2.1	Plan de Trabajo.....	48
4.3	REVISION TALLER DE RECONSTRUCCION.....	49
4.3.1	Requerimientos al Cliente	49
4.3.2	Revisión al Plan de Trabajo	49
4.3.3	Sugerencias	56
4.4	PLAN REVISION PROCESO DE REPARACION Y CONFIABILIDAD FLOTA TALADROS-CERREJON 2017.....	58
4.4.1	TALLER DE RECONSTRUCCION.....	58
4.5	REVISIONES EN CAMPO/PROCESO DE CONFIABILIDAD.....	59

4.5.1	Revisión de estrategias.....	60
4.5.2	Entrevista.....	60
4.5.3	Acompañamiento.....	60
4.5.4	REUNIONES.....	61
4.5.4.1	REUNION PREVIA1.....	61
4.5.4.1	REUNION PREVIA2.....	66
4.5.4.1	REUNION PREVIA3.....	77
4.6	REVISION MEJORAS IMPLEMENTADAS Y PROCESO TALLER RECONSTRUCCIÓN CERREJÓN.....	80
4.7	SISTEMAS MONITOREADOS PARA EVALUAR FALLAS REPETITIVAS 88	
4.7.1	Sistema de Aceite Lubricante.....	88
4.7.2	Motor de Arranque Integral Prelub.....	88
4.7.3	Sistema de Combustible Con Inyector Accionado Mecánicamente ...	88
4.7.4	Sistema de Control CENTRY.....	91
4.7.5	Sistema de Enfriamiento.....	96
4.7.6	Sistema de Postenfriamiento a Baja Temperatura.....	96
4.7.7	Presurización de Enfriamiento Activa.....	98
4.7.8	Sistema de Admisión de Aire.....	100
5.	CONCLUSIONES.....	102
	BIBLIOGRAFIA.....	103

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Plan de Acción.....	62
Tabla 2. Compromisos primera reunión.....	65
Tabla 3. Diagnóstico Inicial.....	66
Tabla 4. Compromisos.....	70
Tabla 5. Compromisos.....	72
Tabla 6. Compromisos Adicionales	76
Tabla 7. Comentarios Reunión 3.....	78
Tabla 8. Compromisos de la reunión 3.....	79
Tabla 9. Medidas sistema de enfriamiento.....	99

LISTA DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1. Ubicación de las operaciones mineras de Cerrejón.....	15
Figura 2. Proceso productivo del carbón.....	16
Figura 3. Proceso de minería de estéril.....	17
Figura 4. Proceso de minería de estéril y carbón.....	18
Figura 5. Modelos de motores cummins.....	20
Figura 6. Pala Hitachi 5500-5.....	23
Figura 7. Motor cummins QSK50.....	23
Figura 8. Pala Hitachi 5500-6.....	24
Figura 9. Motor cummins QSK50.....	24
Figura 10. Pala Hidráulica Hitachi 3600.....	25
Figura 11. Motor cummins QSK60.....	25
Figura 12. Pala komatsu PC4000.....	26
Figura 13. Motor cummins QSK60.....	26
Figura 14. Pala Liebherr.....	27
Figura 15. Motor cummins QSK19.....	27
Figura 16. Perforadores.....	28
Figura 17. Motor cummins QSK19.....	28
Figura 18. Ferrocarril.....	29
Figura 19. Motor cummins QSB 6.1.....	29
Figura 20. Montacargas.....	30
Figura 21. Motor cummins ISX 6.0.....	30
Figura 22. Carros de Emulsión.....	31
Figura 23. Motor cummins ISX 6.0.....	31
Figura 24. Motor Diesel.....	32
Figura 25. Mantenimiento según tiempo de falla.....	37
Figura 26. Tabla de contenido quick serve de cummins.....	50

Figura 27. Inspección quick serve de cummins.....	51
Figura 28. Contenido quick serve de cummins.....	51
Figura 29. Inspección counterbore quick serve de cummins.....	52
Figura 30. Imagen counterbore de motor.....	52
Figura 31. Imagen counterbore de motor.....	53
Figura 32. Imagen counterbore de motor.....	53
Figura 33. Imagen counterbore de motor.....	54
Figura 34. Estante de partes taller de reconstrucción.....	55
Figura 35. Banco de inspección sistema de escape.....	55
Figura 36. Banco base de motor.....	56
Figura 37. Formato rectificación de bloques FO-MAR-MA024.....	80
Figura 38. Formato rectificación de bloques FO-MAR-MA024.....	80
Figura 39. Roll over motores taller cerrejón.....	81
Figura 40. Culatas de motores rectificadas.....	82
Figura 41. Formato de seguimiento de medidas culatas.....	82
Figura 42. Impulsadores de varillas de empuje.....	83
Figura 43. Estantes de almacenamiento de partes.....	84
Figura 44. Formato de inspección pre-operacional equipos.....	86
Figura 45. Formato de inspección pre-operacional equipos.....	87
Figura 46. Sistema de combustible.....	91
Figura 47. Centry.....	92

RESUMEN

TITULO:

MODELO DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM PARA LAS REPARACIONES DE LOS MOTORES CUMMINS QSK45, 50 Y 60 REPARADOS POR LA EMPRESA CARBONES DEL CERREJÓN, LTD*

AUTORES:

EUDES RAFAEL DE ARMAS ITURRIAGO
ARMANDO JOSÉ GONZALEZ MONTERO**

PALABRAS CLAVE:

MOTORES, RCM, MODOS DE FALLAS, EFECTOS DE FALLAS, REPARACIÓN

CONTENIDO:

Esta monografía muestra el desarrollo de un modelo de mantenimiento basado en RCM para las reparaciones de los motores cummins QSK45, 50 y 60 realizados por la empresa Carbones del Cerrejón, LTD, esto para minimizar los impactos que están causando las fallas en los motores con poco tiempo después de ser reparados en el taller de motores en la mina. Lo cual causa disminuye la disponibilidad de los equipos y por ende la producción.

Este desarrollo está soportado por la información técnica de los motores y el conocimiento y experiencia del personal que mantiene y repara a los mismos.

El resultado debe estar acompañado de un compromiso en la ejecución de las tareas resultantes del RCM y un seguimiento constante por parte del personal del taller de reconstrucción de motores de la mina, buscando oportunidades de mejora en el modelo planteado que permitan incrementar la efectividad del mismo.

Esto incluye la modificación de los procedimientos, instructivos, revisión del estado de los repuestos utilizados. Compromisos para efectuar los mantenimientos preventivos sin atrasos. Como parte del trabajo se propone acompañamiento al personal de confiabilidad de cerrejón junto con Técnicos de Cummins y revisar el procedimiento seguido según formatos cerrejón en la inspección del motor.

Acompañamiento a los técnicos de Cummins en la descarga y análisis de la información descargada de los ECM para verificar la correcta evaluación y uso de estos datos, para hacer seguimiento a tendencias en los parámetros del motor.

*Monografía de grado

**Facultad de ingenierías Físico – Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento.

Director: Leandro Palma

ABSTRACT

TITLE:

RCM-BASED MAINTENANCE MODEL FOR REPAIRS OF CUMMINS QSK45, 50 AND 60 ENGINES REPAIRED BY CERREJÓN CARBON CO., LTD *

AUTHOR:

EUDES RAFAEL DE ARMAS ITURRIAGO
ARMANDO JOSÉ GONZALEZ MONTERO**

KEYWORDS:

MOTORS, COAL MINING, RCM, FAILURE MODES, FAILURE EFFECTS, MAINTENANCE

CONTENTS:

This monograph shows the development of an RCM-based maintenance model for the repairs of Cummins QSK45, 50 and 60 engines made by Carbones del Cerrejón, LTD, to minimize the impacts that are causing engine failure with little Time after being repaired in the engine workshop in the mine. This causes a decrease in the availability of equipment and therefore production.

This development is supported by the technical information of the engines and the knowledge and experience of the personnel who maintain and repair them.

The result must be accompanied by a commitment in the execution of the tasks resulting from the RCM and a constant monitoring by the personnel of the workshop of reconstruction of engines of the mine, looking for opportunities of improvement in the raised model that allow to increase the effectiveness of the same one .

This includes the modification of the procedures, instructions, review of the status of the spare parts used. Commitments to carry out preventive maintenance without delays. As part of the work, it is proposed to accompany the reliability personnel of cerrejón together with Cummins Technicians and to review the procedure followed according to the cerrejón formats in the engine inspection.

Accompaniment to the Cummins technicians in the download and analysis of the information downloaded from the ECM to verify the correct evaluation and use of this data, to follow up on trends in the parameters of the engine.

*Monograph

**Physical – Mechanical Faculty. Maintenance Management Specialization.

Director: Leandro Palma

INTRODUCCIÓN

Aplicar la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad es una herramienta que ha servido para garantizar la disponibilidad, confiabilidad y cumplimiento de las metas de producción en la mina Carbones del Cerrejón. En este caso aplicando la metodología a los planes de mantenimiento y reparación de los motores Cummins QSK 45, 50 y 60 en el taller de reconstrucción de la mina se pretende encontrar las variables que influyen para que estas reparaciones no sean tan efectivas y los motores no alcancen su periodo de vida útil después de haber sido reparados.

Los equipos Hitachi 3600, Hitachi 5500, Komatsu PC4000, Liebherr 984C, Taladros Sandvik / Atlas Copco utilizan motores cummins, los cuales han presentado fallas con pocas horas de operación cuando estos han sido reparados en el taller de reconstrucción de motores de la mina.

Para conseguir esto se realiza el AMFE (Análisis de modos de fallas y efectos) de los motores Cummins. Donde se revisan las actividades que realiza cerrejón en el proceso de reconstrucción de los motores diésel QSK 45, 50 y 60 y buscar oportunidades de mejora, revisando los procedimientos e instructivos que se utilizan y las rutinas de inspecciones en campo para utilizadas para detectar oportunamente fallas, y revisar cómo se comportan los motores en funcionamiento y tomar decisiones sobre intervenciones o correctivos.

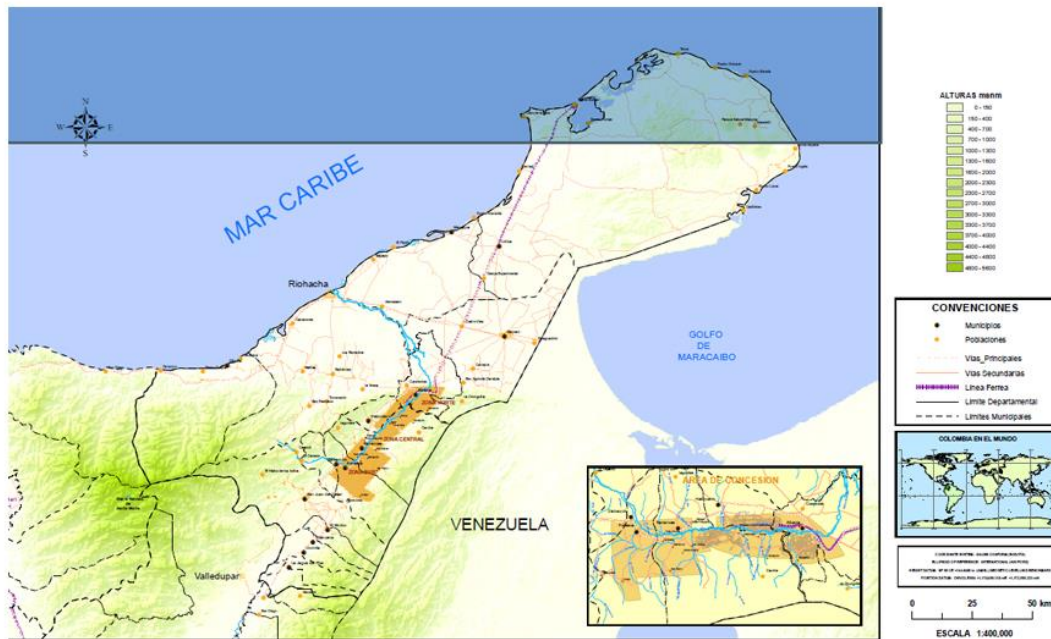
Una vez revisado el estado actual de los planes de mantenimiento y el proceso de reparación de motores en el taller de reconstrucción de la mina. Se realiza una propuesta de mejora para los procesos para hacer mejor las reparaciones usando técnicas recomendadas por cummins y así garantizar que estos componentes tendrán una mayor durabilidad y por ende dar los mejores indicadores de las maquinas dentro del proceso productivo.

1. CONTEXTO DEL PROYECTO

1.1 CARBONES DEL CERREJÓN, LTD.

Es una empresa de minería a cielo abierto dedicada a la extracción, transporte y exportación de carbón térmico. Está ubicada en el departamento de La Guajira y actualmente tiene una producción de 32,3 millones de toneladas de carbón al año. Sus operaciones se extienden a través de 69000 hectáreas aproximadamente, convirtiéndola en la mina a cielo abierto más grande de América Latina y una de las más grandes del mundo. En la figura se relacionan otros indicadores de la empresa.

Figura 1. Ubicación de las operaciones mineras de Cerrejón



Fuente: <http://www.cerrejon.com/site/nuestra-empresa/quienes-somos.aspx>, Abril de 2017

La minería a cielo abierto es un proceso en secuencia, diseñado cuidadosamente para afectar lo menos posible el entorno. Inicia con el rescate y la relocalización de la fauna que habita en los predios donde se va a realizar minería, acto seguido se realiza el retiro de la capa vegetal y almacenamiento de la misma en bancos de suelo para su uso posterior en la rehabilitación de tierras. Una vez se quita todo el suelo queda al descubierto el material estéril, que debe ser fragmentado para poder ser manejado por los equipos de cargue. Esta fragmentación se hace mediante el proceso de voladuras. A partir de este punto se inician dos procesos, la minería de material estéril y la minería de carbón.

Figura 2. Proceso productivo del carbón



Fuente: www.cerrejon.com , Abril de 2017

1.1.1 Proceso Minería de estéril. La mayor parte de material que es sacado de los tajos es estéril, la relación de descapote en Cerrejón es aproximadamente 6,5 a 1, es decir, por cada 6,5 toneladas de material estéril se extrae 1 tonelada de carbón. En este proceso, los equipos de cargue entran a un banco de

aproximadamente 10 metros, que previamente ha sido abierto por equipos de menor tamaño, toman el estéril y lo cargan en camiones de 320 t y 240 t de capacidad que posteriormente lo llevan hasta los botaderos. Una vez los equipos de cargue llegan a un manto de carbón le dan paso al proceso de minería de carbón.

Figura 3. Proceso de minería de estéril

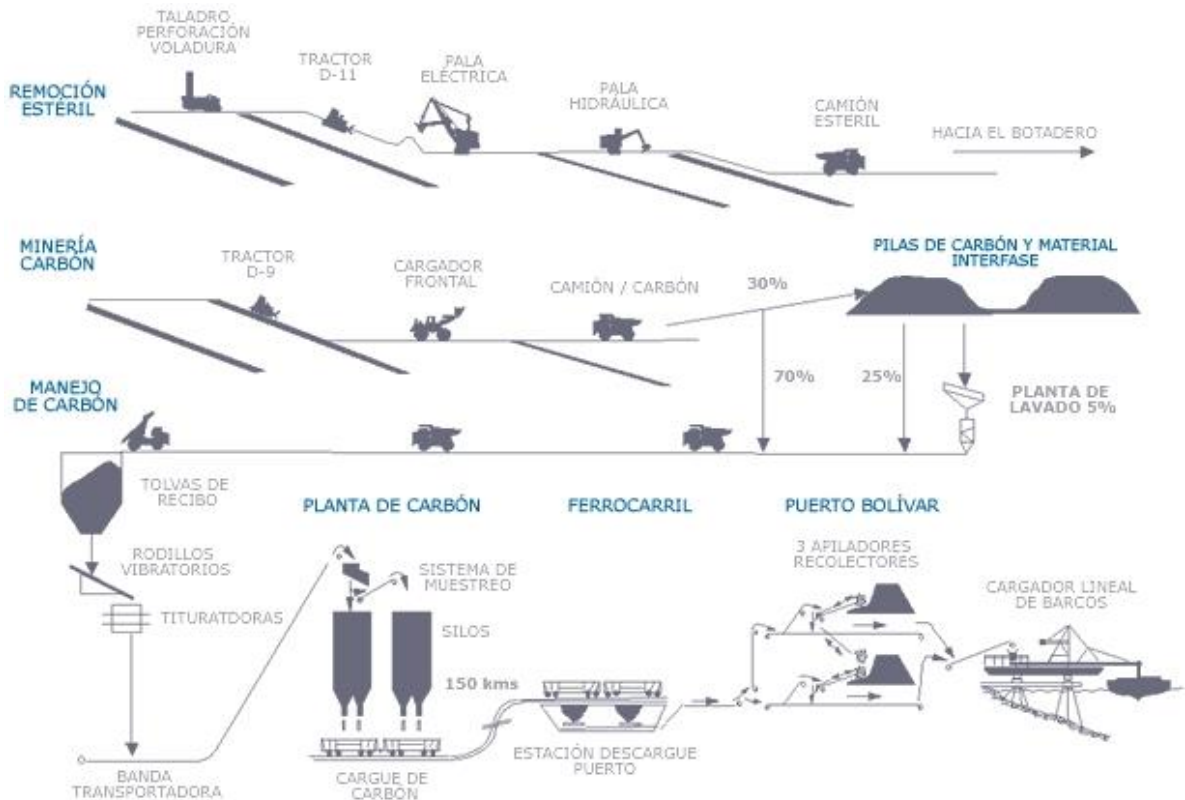


Fuente: www.cerrejon.com, mayo de 2012

1.1.2 Proceso Minería de Carbón. Una vez el manto de carbón se encuentra descubierto es escarificado y apilado a nivel de piso con un tractor o una retroexcavadora de largo alcance en caso de ser de alto buzamiento. Luego un cargador frontal toma este carbón y lo carga en camiones con capacidad de 190 T que lo trasladarán hacia las pilas de almacenamiento o directamente hacia las trituradoras. Cerca del 70% del carbón minado es triturado inmediatamente y

despachado en tren, mientras que el 30% restante es almacenado de acuerdo con su poder calorífico, contenido de cenizas y azufre. Este carbón es luego triturado e incorporado al flujo normal con el fin de ajustar la calidad del carbón despachado en un momento dado.

Figura 4. Proceso de minería de estéril y carbón



Fuente: www.cerrejon.com, mayo de 2012.

En cerrejón hay 2 plantas trituradoras encargadas de darle las dimensiones adecuadas al carbón minado, tienen una capacidad media de 3000 t/hr y de allí sale el carbón mediante bandas transportadoras hasta los silos de almacenamiento. Los silos miden de 70 m de alto, 21 de ancho, tienen una capacidad de 13000 t aproximadamente y allí se realiza el cargue de los vagones de tren antes de iniciar su viaje de 150 km hasta Puerto Bolívar. En La Mina, la calidad del carbón triturado se mide mediante el análisis de muestras tomadas por

un muestreado automático. Antes de cargar el carbón en el tren, y en un lapso de tiempo inferior a dos horas, se determina la calidad del carbón por medio de análisis rápidos de laboratorio.

Puerto Bolívar es el terminal carbonífero más importante de América Latina y uno de los de mayor tamaño del mundo recibiendo barcos de hasta 180000 t de peso muerto, con 300 m de eslora y 45 m de manga. Posee un canal navegable de 19 m de profundidad, 225 m de ancho y 4 km de largo, por el que son remolcados los barcos hasta el sistema de cargue directo, con el que se cuenta desde 1985. La rata promedio actual es de 6300 t/hr, con picos de hasta 11000 t / hr. La mayor parte del carbón de Cerrejón se utiliza en la generación de energía eléctrica, mientras que una proporción menor se utiliza en ámbitos industriales y en la calefacción doméstica. El alto rendimiento del carbón de Cerrejón en varios procesos de combustión lo ha colocado en una posición de excelencia tanto en Europa como en América del Norte durante más de 20 años¹.

1.2 MOTORES CUMMINS

1.2.1 Historia de Empresa Cummins. Cummins es un líder mundial de la energía que diseña, fabrica, vende y presta servicios a motores diésel y alternativos de 2,8 a 95 litros, grupos electrógenos diésel y alternativos de 2,5 a 3,500 kW, así como componentes y tecnología relacionados. Cummins atiende a sus clientes a través de su red de 600 empresas distribuidoras independientes e independientes y más de 7,200 distribuidores en más de 190 países y territorios. Limpios, eficientes y siempre confiables, los Motores Cummins son la muestra de cómo se hace el trabajo duro.

Nuestras divisiones “Dentro de Carretera”, “Fuera de Carretera” y “Marinos”.

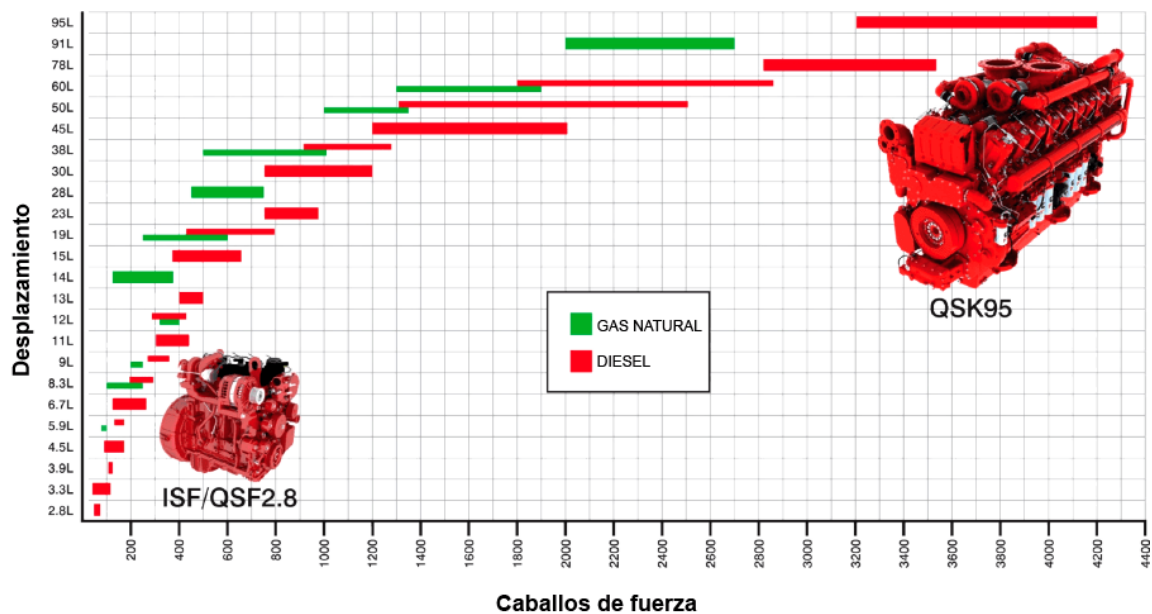
¹CERREJON, Nuestra empresa. [En Línea] www.cerrejon.com 2012

Dan potencia a todo desde los camiones mineros de 360 toneladas hasta ambulancias, y a una línea completa de motores diésel marinos comerciales y recreativos.

Todos nuestros motores están protegidos por nuestras Partes Genuinas Cummins y Servicio Cummins, con más de 5,500 locaciones en todo el mundo. Tenga la seguridad de que con Cummins obtendrá la ayuda que necesita, cuando usted la necesite, ya sea día o noche.

Cummins es el mayor fabricante de motores diésel y gas a nivel mundial, abarcando una amplia gama de potencias desde 60 HP hasta 5.000 HP (horsepower).

Figura 5. Modelos de motores cummins



Fuente: www.cummins.com.mx/introduccion, abril del 2017

La unidad de Motores de Cummins, desarrolla soluciones personalizadas basadas en:

- Conocimiento en detalle del proyecto (equipos nuevos o repotenciación)
- Evaluación general de costos del sistema productivo intervenido.

- Análisis de productividad.
- Procesos de ingeniería de aplicaciones.
- Cumplimiento de la promesa de valor.

Cummins está a la vanguardia en el cumplimiento de estándares de emisiones internacionales de la mano con el mejoramiento del desempeño del motor, generando una operación más económica y amigable con el medio ambiente gracias a la economía de combustible y a la permanente reingeniería aplicada al motor.

Cummins es un líder global en potencia que diseña, fabrica, vende y da servicio de motores diésel y a las tecnologías relacionadas en todo el mundo. Cummins atiende a sus clientes a través de su red de 600 ubicaciones propiedad de la empresa y de distribuidores independientes y más de 7.200 lugares de distribución en más de 190 países y territorios.

1.2.2 Negocios Cummins. El Segmento de Componentes consiste de cuatro negocios: Cummins Filtración, Cummins Turbo Technologies, Cummins Emission Solutions y Cummins Fuel Systems.

1.2.2.1 Cummins Filtración. Diseña, fabrica y distribuye productos de tecnología de filtración de aire, combustible, líquidos lubricantes e hidráulicos, productos químicos y sistemas de escape de uso pesado para equipos alimentados con diésel y gasolina.

1.2.2.2 Cummins Turbo Technologies. Diseña y fabrica turbo-cargadores y productos relacionados, a nivel mundial, para motores diésel de más de 3 litros.

1.2.2.3 Cummins Emission Solutions. es líder global en el diseño, fabricación e integración de la tecnología de post-tratamiento de gases de escape y soluciones comerciales dentro y fuera de carretera de carga ligera, media, y pesada y en los mercados de motores de alta potencia. Dedicado a la innovación y

la confiabilidad en el cumplimiento de las regulaciones de las emisiones mundiales, Cummins Emission Solutions desarrolla y produce varias soluciones de emisión destinadas a satisfacer los más altos estándares de emisiones en todo el mundo.

1.2.2.4 Cummins Fuel Systems. Diseña, desarrolla y fabrica sistemas nuevos de combustible y remanufactura módulos de control electrónico en Estados Unidos. En México, remanufactura sistemas de combustible Cummins y otros. Este negocio da servicio a motores que van desde 9 hasta 78 litros.

1.2.2.5 Cummins Distribución. Impulsa una amplia administración de canales y estrategias de distribución a nivel mundial. Aprovechando las sinergias en las piezas y los servicios, este negocio contribuye a Cummins al proporcionar un excelente respaldo a nuestros clientes, mientras se desarrolla un negocio menos cíclico y de capital menos concentrado.

El negocio consiste en 17 distribuidores propiedad de la compañía y 10 empresas mixtas, que abarca 90 países y territorios a través de 233 localidades. A través de esta red, personal capacitado vende y distribuye productos de la marca Cummins, servicios relacionados y soluciones más amplias, tales como contratos de mantenimiento, servicios de ingeniería y productos integrados personalizados.

1.2.3 Cummins en cerrejón

1.2.3.1 Palas Hitachi 5500-5. Estas palas Hitachi se encuentran en los pits (tajos) para la excavación de material estéril. Poseen dos motores Cummins QSK45.

Figura 6. Pala Hitachi 5500-5



Fuente: www.chmineria.com.co/lineas-de-productos/hitachi, abril del 2017

Figura 7. Motor cummins QSK50



Fuente: www.cumminspain.com/productos, abril del 2017

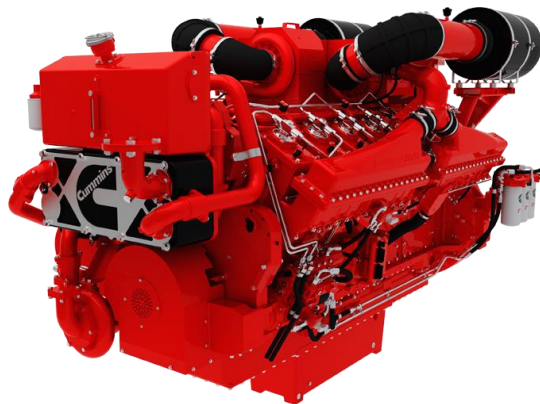
1.2.3.2 Palas Hitachi 5500-6: Estas palas Hitachi se encuentran en los pits para la excavación de material estéril. Poseen dos motores Cummins QSK50.

Figura 8. Pala Hitachi 5500-6



Fuente: www.chmineria.com.co/lineas-de-productos/hitachi, abril del 2017

Figura 9. Motor cummins QSK50



Fuente: www.cumminsspain.com/productos, abril del 2017

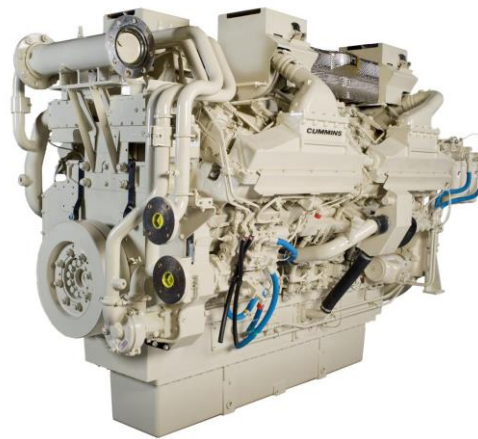
1.2.3.3 Palas Hitachi 3600: Estas palas Hitachi se encuentran en los pits para la excavación de carbón. Poseen un motor cummins QSK60.

Figura 10. Pala Hidráulica Hitachi 3600



Fuente: Autores de la monografía

Figura 11. Motor cummins QSK60



Fuente: www.cumminsspain.com/productos, abril del 2017

1.2.3.4 Palas Komatsu PC4000: Estas palas Komatsu se encuentran en los pits para la excavación de material estéril. Poseen un motor cummins QSK60.

Figura 12. Pala komatsu PC4000



Fuente: www.komatsu.pe/index.php?option=com...view...id...palas, abril del 2017

Figura 13. Motor cummins QSK60



Fuente: www.cumminsspain.com/productos, abril del 2017

1.2.3.5 Palas Liebherr: estas palas Liebherr se encuentran en los pits para la excavación de carbón. Poseen un motor cummins QSK19.

Figura 14. Pala Liebherr



Fuente: <https://www.liebherr.com>, abril del 2017

Figura 15. : Motor cummins QSK19



Fuente: www.cumminsspain.com/productos, abril del 2017

1.2.3.6 Taladros: Estos equipos son utilizados para la perforación de la capa de esteril. Marcas Atlas copco o Sandvick tienen motores QSK19.

Figura 16. Perforadores



Fuente: www.atlascopco.cl/es-cl/construction-equipment/.../rock-drill, abril del 2017

Figura 17. Motor cummins QSK19



Fuente: www.cumminsspain.com/productos, abril del 2017

1.2.3.7 Ferrocarril: Estos equipos son utilizados para transportar el carbón removido desde la mina hasta puerto bolivar en la alta guajira. Poseen motores QSB 6.1.

Figura 18. Ferrocarril



Fuente: www.cerrejon.com, abril del 2017

Figura 19. Motor cummins QSB 6.1



Fuente: www.cumminsspain.com/productos , abril del 2017

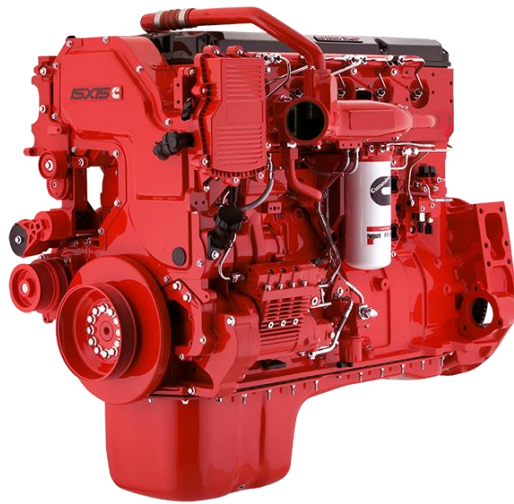
1.2.3.8 Montacargas: Estos equipos se usan para sujetar y elevar componentes. Tienen motores cummins ISX 6.0.

Figura 20. Montacargas



Fuente: www.tracsa.com.mx/productos/montacargas, abril del 2017

Figura 21. Motor cummins ISX 6.0



Fuente: www.cumminsspain.com/productos, abril del 2017

1.2.3.9 Carros de emulsión. Estos equipos se usan para transportar el material para las voladuras. Tienen motores cummins ISX 6.0.

Figura 22. Carros de Emulsión



Fuente: www.tracsa.com.mx/productos, abril del 2017

Figura 23. Motor cummins ISX 6.0



Fuente: www.cumminsspain.com/productos, abril del 2017

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

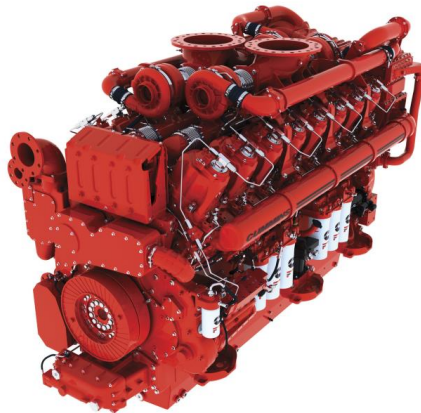
La empresa carbones del cerrejón, LTD. Cuenta con un taller de reconstrucción de motores diésel de diferentes marcas y modelos dependiendo de la aplicación de sus equipos.

Muchos de sus equipos como palas, camiones, ferrocarriles, generadores, entre otros usan motores cummins para su operación. De los cuales ante las fallas que estos pueden presentar o frente a las reparaciones por vida útil de los mismos,

estos son reparados en el taller de reconstrucción con el que cuenta la empresa en sitio o en su defecto son enviados a CNC (cummins norte de Colombia – Barranquilla) para ser reparados.

Las fallas que se han presentado los motores cummins QSK45, 50 y 60 en estos últimos meses después de haber sido reparados en el taller de la mina e instalados posteriormente en las palas hidráulicas Hitachi 5500-5, 5500-6, Hitachi 3600, komatsu PC4000 y Liebherr han sido diversas y con mucha frecuencia con poco tiempo después que estos motores son colocados en la operación. Dando como consecuencia daños catastróficos, tiempos down de los equipos y poca confiabilidad de las reparaciones que se están realizando actualmente en el taller.

Figura 24. Motor Diesel



Fuente:

<https://power.cummins.com/sites/default/files/downloads/54.html> , Abril de 2017.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general.

Desarrollar un modelo de mantenimiento basado en RCM para las reparaciones de los motores cummins QSK45, 50 y 60 revisados por la empresa Carbones del Cerrejón, LTD.

1.4.2 Objetivos específicos

- Identificar los sistemas de los motores en los cuales se han presentado las fallas y se les va a aplicar la metodología RCM.
- Determinar los modos de falla y/o causas de las fallas que se han presentado en los motores cummins QSK45, 50 Y60.
- Realizar estudio de los procedimientos empleados en el taller para realizar las reparaciones de los motores y comparar con los recomendados por fábrica para identificar posibles fallas en el proceso.

1.5 JUSTIFICACIÓN

Las reparaciones de los motores cummins QSK45, 50 y 60 en el taller de reconstrucción de carbones del cerrejón, LTD. No están siendo confiables, debido a que después de ser instalados en los equipo fallan con pocas horas de operación causando impacto económico y de disponibilidad de los equipos.

Con la realización de este trabajo se quiere establecer un modelo de mantenimiento basado en RCM que permita identificar los tipos de fallas, las causas de los mismos, los procedimientos empleados para las reparaciones de los mismos y compararlos con los empleados por CNC para detectar falencias en las reparaciones y dar recomendaciones a las mismas.

Finalmente, se pretende con el modelo dar confiabilidad a las reparaciones de los motores para evitar los tiempos down en las palas y actuar de manera efectiva ante las fallas de los mismos.

2. MARCO TEORICO

2.1 MANTENIMIENTO

El mantenimiento se puede definir como un proceso donde una empresa responsable por la entrega de una disponibilidad de los activos productivos, requerida en el plan de negocio con la debida atención a la seguridad de las personas y del cuidado del Medio ambiente, al costo óptimo.² Así mismo se puede decir que refiere al tiempo que toma el restituir un equipo a su condición operativa después de una parada por falla o planificada.³

La historia del mantenimiento se divide en generaciones durante la primera generación se basaba en correcciones momentáneas y fue conocido como mantenimiento correctivo es decir se efectúa generalmente cuando los fallos han ocurrido.

Durante la segunda generación surgen el mantenimiento preventivo utilizado para prever fallos con base en parámetros de diseño y condiciones de trabajo, mantenimiento predictivo que nació para adelantarse a los fallos con base en observaciones que indican tendencias y el mantenimiento modificativo que incluye actividades de diseño y/o modificación de activos.

²PERTUZ COMAS, Alberto, Principios de Mantenimiento. Apuntes de clase. 2016

³SILVA ARDILA, Pedro y ORREGO BARRERA, Juan. Confiabilidad en la Práctica. Colombia, 2014

Con el avance de la tecnología y los problemas que se presentaban en el mundo surgen los mantenimientos basados en la integración de producción y mantenimiento, como el productivo total que nace en Japón y atribuye un alto valor al trabajo en equipo, a los proyectos realizados por acuerdo común y a una mejora constante o continua ⁴.

El RCM mantenimiento centrado en confiabilidad, Mantenimiento combinado, mantenimiento clase mundial que se basa en conseguir mejores prácticas operacionales y de mantenimiento reuniendo elementos de diferentes enfoques organizacionales con una visión de negocio y esto buscando siempre el fin de generar ahorros y armonía en una empresa. Otro tipo sería el mantenimiento proactivo el cual se caracteriza por ser emprendido antes de que ocurra una falla, para prevenir que cualquier elemento entre en estado de falla puede ser a través de restauración programada, desincorporación programada o mantenimiento basado en condición.

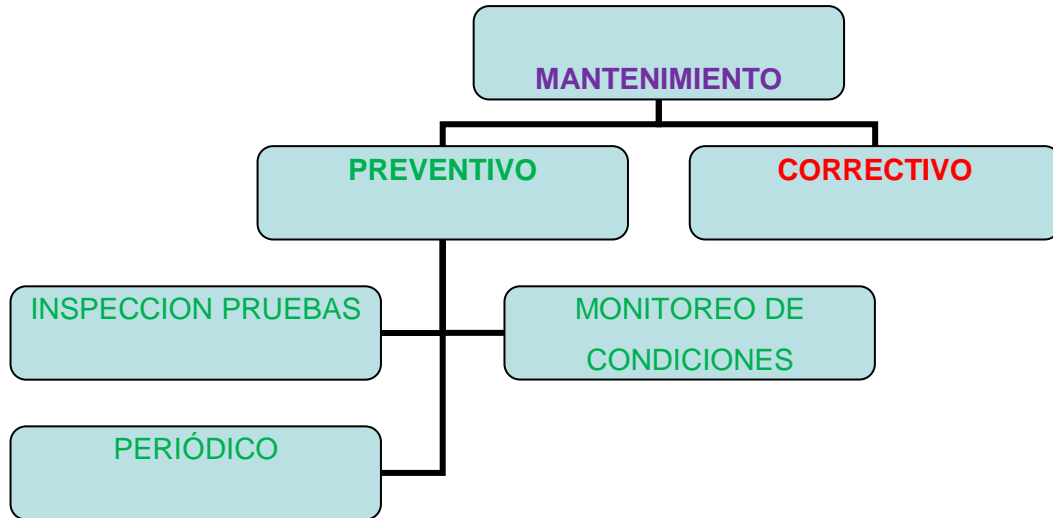
2.1.1 Mantenimiento Preventivo

Definiciones del mantenimiento preventivo hay muchas pero una de las simples es el mantenimiento llevado a cabo a intervalos predeterminados de tiempo o de acuerdo a un criterio prescrito y con la finalidad de reducir la probabilidad de falla o la degradación del funcionamiento del activo.

La principal diferencia con respecto al mantenimiento correctivo es que va enfocado a proteger las condiciones del equipo y se ejecuta antes de la ocurrencia de la falla, entra en el grupo de mantenimiento proactivo.

⁴MOORE, Ron; RATH, Ron, La Combinación del TPM y del RCM, estudio de un caso práctico

Figura 25. Mantenimiento según tiempo de falla



Fuente: <https://maintenancela.blogspot.com/>, abril del 2017

2.1.2 Mantenimiento Predictivo

El mantenimiento predictivo va más allá del mantenimiento preventivo ordinario donde se utiliza las inspecciones, los sentidos (monitoreo por condición), son acciones de mantenimiento programadas que se hacen de acuerdo al estado de operación del equipo. Para esto se necesita instrumentos especializados, análisis técnicos. Su principal objetivo es detectar fallas potenciales con el sistema en funcionamiento y determinar qué tipo de acción se debe realizar.

Es una técnica que busca determinar el estado o condición de una máquina o sistema sin interferir su funcionamiento, detectar anomalías y predecir fallas antes de que éstas ocurran.

Los tipos de inspecciones son:

Monitoreo discreto, en el cual las inspecciones se realizan con cierta periodicidad, en forma programada

Monitoreo continuo, se ejerce en forma constante con instrumentos instalados en las máquinas: este tiene la ventaja de indicar la acción correctora lo más cerca posible al fin de su vida útil

Una de las ventajas de este tipo de mantenimiento es reducir el tiempo de las acciones de mantenimiento lo que se traduce en mayor producción, mayor eficiencia de los equipos y menos paradas imprevistas de la máquina.

Utiliza variables sintomáticas representativas del estado o condición, entre las cuales se destacan: análisis de vibraciones, termografía, análisis de aceites, ultrasonido, análisis de corriente o parámetros de calidad⁵.

2.1.3 Mantenimiento Correctivo

Se puede decir que es el mantenimiento llevado a cabo después del reconocimiento del fallo, es decir ya ha ocurrido, esto con la intención de colocar un ítem, componente, equipo en un estado en el cual pueda desempeñar la función requerida. Es el conjunto de operaciones que se hacen sobre un equipo o sistema de equipos fallado para restituirlo a condiciones operativas normales.

Este tipo de mantenimiento afecta la producción debido a la ocurrencia de forma imprevista de la falla e incluso puede ser catastrófica, solo se toma acción cuando ocurre el fallo, se necesita mucha inversión en repuestos.

El correctivo es un mantenimiento reactivo y puede ser programado, de urgencia o emergencia¹

⁵GARCÍA CASTRO, Alfonso, Mantenimiento predictivo, Análisis de vibraciones y termografía. Apuntes de clase. 2016

2.2 RCM

RCM o Reliability Centred Maintenance, (Mantenimiento Centrado en Fiabilidad) es una técnica más dentro de las posibles para elaborar un plan de mantenimiento en una instalación industrial y presenta algunas ventajas importantes sobre otras técnicas. Inicialmente fue desarrollada para el sector de aviación, donde no se obtenían los resultados más adecuados para la seguridad de la navegación aérea. Posteriormente fue trasladada al campo militar y mucho después al industrial, tras comprobarse los excelentes resultados que había dado en el campo aeronáutico.

El objetivo fundamental de la implantación de un Mantenimiento Centrado en Fiabilidad o RCM en una planta industrial es aumentar la fiabilidad de la instalación, es decir, disminuir el tiempo de parada de planta por averías imprevistas que impidan cumplir con los planes de producción. Los objetivos secundarios pero igualmente importantes son aumentar la disponibilidad, es decir, la proporción del tiempo que la planta está en disposición de producir, y disminuir al mismo tiempo los costes de mantenimiento. Moubray define el mantenimiento centrado en confiabilidad como “Un proceso utilizado para determinar qué se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que hagan en su contexto operacional”⁴

El análisis de los fallos potenciales de una instalación industrial según esta metodología aporta una serie de resultados:

- Mejora la comprensión del funcionamiento de los equipos.
- Analiza todas las posibilidades de fallo de un sistema y desarrolla mecanismos que tratan de evitarlos, ya sean producidos por causas intrínsecas al propio equipo o por actos personales.
- Determina una serie de acciones que permiten garantizar una alta disponibilidad de la planta.

Las acciones tendentes a evitar los fallos pueden ser de varios tipos⁶:

- Determinación de tareas de mantenimiento que evitan o reducen estas averías.
- Mejoras y modificaciones en la instalación.
- Medidas que reducen los efectos de los fallos, en el caso de que estos no puedan evitarse.
- Determinación del stock de repuesto que es deseable que permanezca en planta, como una de las medidas paliativas de las consecuencias de un fallo.
- Procedimientos operativos, tanto de operación como de mantenimiento.
- Planes de formación.

2.2.1 Las 7 preguntas claves

RCM se basa, pues, en la puesta de manifiesto de todos los fallos potenciales que puede tener una instalación, en la identificación de las causas que los provocan y en la determinación de una serie de medidas preventivas que eviten esos fallos acorde con la importancia de cada uno de ellos. A lo largo del proceso se plantean una serie de preguntas clave que deben quedar resueltas:

1. ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?
2. ¿Cómo falla el equipo en satisfacer dichas funciones?
3. ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?
4. ¿Qué parámetros monitorizan o alertan de un fallo?
5. ¿Qué consecuencias tiene cada fallo?
6. ¿Cómo se puede prevenir o predecir cada fallo?
7. ¿Qué debe hacerse si no es posible evitar un fallo?

⁶MOUBRAY, Jhon, Mantenimiento centrado en confiabilidad. Mexico. 2004

La solución a estas preguntas para cada uno de los sistemas que componen una instalación, sistema o equipo conduce a la determinación de los fallos potenciales, las causas de éstos y las medidas preventivas que tendrán que adoptarse. El RCM busca llevar los equipos a ser seguros y confiables, reduciendo costos ayudando a mejorar la calidad de los productos, buscando la manera de reducir el impacto a la seguridad y al medio ambiente. Además de buscar que exista una mejor relación entre los distintos niveles y departamentos Mantenimiento y Producción.

2.2.2 Resultados del RCM

Al aplicar RCM se puede obtener que las funciones de mantenimiento cumplan las expectativas de la empresa como por ejemplo mayor disponibilidad y confiabilidad, mejoras en la calidad del producto, extender la vida útil de los equipos, mejor costo-eficacia, entre otros.

Estos logros Moubray los define como

- Mayor seguridad e integridad ambiental: En la aplicación del RCM se puede notar como las implicaciones ambientales y de seguridad de cada falla son consideradas previo a la revisión de los efectos en la operación, es decir busca minimizar o eliminar los riesgos identificables relacionados con la seguridad de los equipos y el ambiente. Al tomar en cuenta estos dos aspectos el RCM ayuda a mejorar el puesto de trabajo de las personas, y la actitud que tendrán al desarrollar las tareas, ya que tendrán controles para los riesgos.
- Mejoras en el funcionamiento operacional: RCM al ser aplicado adecuadamente según la situación de la empresa, asegura que solo se elijan las formas de mantenimiento más efectivas para cada activo, y que se tomen las medidas necesarias en las situaciones en que el mantenimiento habitual no pueda ayudar, la elección adecuada de los mantenimientos a realizar y que hacer en caso de no tener una tarea clara de mantenimiento, lleva a grandes mejoras en el desempeño de los activos físicos. RCM desde sus inicios se desarrolló para diseñar programas de mantenimiento, en los activos nuevos el

RCM sobre todo en los que son considerados complejos, es muy útil porque ahorra mucho en los ensayos de prueba y error que es algo que sucede mucho durante el desarrollo de nuevos programas de mantenimiento, ya que estos implican mucho tiempo y se producen errores que ocasionan muchos gastos.

- Mayor costo-eficacia del mantenimiento: El RCM se focaliza en hallar la forma de centrarse en las actividades que tienen mayor efecto en el desempeño del activo, Así se logra que el capital que se invierte en mantenimiento se utilice en las zonas donde se alcancen los mejores resultados.

Cuando el RCM se aplica a sistemas existentes, se obtienen buenos resultados, como reducir las rutinas de trabajo de cada período, en un rango de 40 a 70%. En el caso de aplicarse a un programa nuevo de mantenimiento, la carga de trabajo es mucho más baja que utilizar un método distinto.

- Mayor vida útil de componentes costosos: Esto se logra gracias a la aplicación de técnicas de mantenimiento a condición, que ayudan a extender la vida de los componentes críticos o costosos del activo.
- Base de datos global: Otro logro del RCM son los registros extensamente documentados con los requerimientos de mantenimiento de todos los activos físicos de la empresa. Esto sirve para la trazabilidad en las auditorías, con esta información se ayuda a reducir los efectos del cambio de personal como por ejemplo la pérdida de experiencia del personal, se busca que la información pueda servir a todas las personas que laboren en el mantenimiento del activo. También ayuda a clasificar elegir el personal adecuado para mantener el activo además de establecer que repuestos se deben mantener en stock y cuales se pueden comprar en otro momento. La inversión en manuales y planos para el personal de mantenimiento y la constante actualización de sus contenidos son otros logros del RCM.
- Mayor motivación del personal: El involucrar a personal en diferentes cargos lleva a un mayor entendimiento general del activo en su contexto operacional, se obtiene un mayor sentido de pertenencia y perspectiva en solucionar los

problemas de mantenimiento con un aumento en la probabilidad de que el equipo no falle luego de aplicada la solución.

- Mejor trabajo de equipo: La información obtenida luego de aplicado el RCM permite que se cree un lenguaje técnico fácil de entender para el personal involucrado con el activo. Es decir el personal de mantenimiento y de operación van entenderse mejor y juntos lograran que el mantenimiento logre su objetivo³.

Cabe mencionar que para obtener estos logros el grupo RCM elegido debe estar bien conformado es decir deben hacer parte operador, supervisor de mantenimiento, facilitadores de la metodología, especialista, mantenedores supervisor de operación, todos deben conocer las fallas y modos de fallas del equipo, debe haber un clima agradable durante los encuentros, debe haber personal que pueda relevar si alguien falta y tener conocimiento de lo que se está tratando, debe realizarse a equipos de los cuales ya se dispone de una historia estadística de fallas (beta alto 3.44), para esto tuvo que haberse medido solo entonces se puede aplicar RCM. En caso de fracasar RCM no se debe intentar aplicar inmediatamente se debe dar una espera considerable. La implementación es de largo plazo por lo cual los logros no se obtendrán a corto plazo, hay que darle tiempo, y siempre debe llegar al programa de mantenimiento para garantizar que se cumpla⁷.

⁷MORA GUTIERREZ, Alberto. RCM avanzado e informático. Apuntes de clase. 2016.

2.3 MOTORES DIESEL

El motor diésel es un motor térmico que tiene combustión interna alternativa que se produce por el autoencendido del combustible debido a altas temperaturas derivadas de la compresión del aire en el interior del cilindro, según el principio del ciclo del diésel. Se diferencia del motor de gasolina en usar gasóleo como combustible. Ha sido uno de los más utilizados desde su creación⁸.

⁸WIKIPEDIA, Motor Diésel. [Citado en abril de 2017]. Disponible en <https://es.wikipedia.org/wiki/Motor_di%C3%A

3. ANÁLISIS DE HOJA DE DATOS

3.1 Análisis de hojas de datos AMFE.

Al realizar el análisis de modos de fallas y efectos de los sistemas de los motores cummins (ver anexo hoja de datos AMFE) se pudo identificar cuales fallas funcionales son las que más se presentan en los motores cummins y los modos de fallas que las ocasionan.

Siguiendo la metodología RCM se pudo ir listando por sistemas sus funciones, fallas funcionales, los modos de fallas y efectos. El análisis de modos de fallas es importante porque en el mantenimiento los eventos se manejan al nivel de modo de falla por esto deben ser conocidos.

En el caso del sistema de refrigeración la alta temperatura es uno de las fallas más repetitivas debido a diversos problemas que se detectaron como radiador obstruido, indicadores de sensores de presión en mal estado, niveles de refrigerante por fuera de lo normal, tapón del tanque de refrigerante dañado. Todos estos modos de fallas fueron analizados y revisados en los equipos para confirmar el estado de los componentes de este sistema, hacer los respectivos backlogs y correcciones para dar con solución a este problema. Las condiciones han mejorado y también se actualizaron las escalas de los valores de las alarmas del sistema mine care de cerrejón el cual avisa cuando hay alteraciones en el funcionamiento de los sistemas de los equipos.

En el sistema de admisión y escape las fallas más frecuentes son la restricción de aire, la producción del humo negro. Los cuales son producidos por filtros o líneas obstruidas, aire en el sistema, problemas con el combustible (calidad), fugas entre otros. Se realizó la sugerencia de hacer cambios más frecuentes de filtros de aire y limpiarlos en ventana de oportunidad para que estos trabajen de una mejor manera.

En el sistema de combustible, tenemos fallas comunes y repetitivas como fugas, combustible en el aceite, alta temperatura de combustible, combustible en el

refrigerante. Este tipo de fallas son evaluadas como P0 y tienen la más alta prioridad.

En el caso del sistema de lubricación, los casos más comunes de fallas encontrados lubricación deficiente en partes móviles.

Para el sistema eléctrico tenemos como fallas más comunes problemas con los alternadores, fallas en baterías, las cuales no se han ido minimizando con la ejecución de backlogs y revisión del sistema eléctrico.

3.2 Mantenimiento de motores diésel

Básicamente el mantenimiento de motores diésel tiene tres componentes: Las inspecciones visuales, las rutinas provenientes del mantenimiento preventivo y el mantenimiento correctivo.

3.2.1 Inspecciones visuales. Es el método de control más básico, caracterizado por tener rutinas de alta frecuencia y corta duración. Su objetivo primordial es verificar el estado de los equipos y encontrar posibles anomalías como fugas, elementos deteriorados que puedan ser evidenciadas usando los sentidos de las personas que llevan a cabo esta tarea. Durante estas inspecciones también se toma nota de las principales variables que deben ser monitoreadas, con el fin de utilizar estos datos en la detección de fallas.

3.2.2 Mantenimiento preventivo programado. El mantenimiento preventivo consiste en las inspecciones que se hacen a los elementos propensos a falla¹ para verificar su estado y en algunas ocasiones para estimar la posibilidad de una falla en el futuro. En los motores cummins estas intervenciones se realizan durante las paradas programadas de las palas hidráulicas.

¹ BORRAS PINILLA, Carlos. Principios de mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2011. p.58.

4. MODELO PROPUESTO

Con la propuesta de la aplicación del RCM para la reparación de los motores cummins QSK 45, 50 y 60 en Cerrejón se propone realizar las siguientes actividades:

Historial de fallas de motores cummins en cerrejón

4.1 ACTIVIDADES REALIZADAS:

Revisar las actividades que realiza cerrejón en el proceso de reconstrucción de un motor diésel QSK 45, 50 y 60 y encontrar oportunidades de mejora en la cadena. Las a etapas a tener en cuenta serán:

- Recepción de motores en el taller de reconstrucción
- Lavado
- Desarme y Evaluación
- Almacenamiento
- Ensamble
- Prueba de dinamómetro.

4.1.1 Requerimientos al Cliente

- Flujograma del proceso de reconstrucción
- Formatos de cerrejón utilizados en las diferentes etapas del Flujograma
- Acceso a las instalaciones de los talleres de reconstrucción para revisión de las etapas del proceso
- Cuatro órdenes de trabajo, 2 de las cuales los motores se encuentren en proceso de desarme y evaluación mientras los otros 2 se encuentren en proceso de armado

•Aval para realizar entrevistas al personal encargado de las diferentes etapas del proceso

4.1.2 Plan de Trabajo

- Revisión del seguimiento al Flujograma del proceso de reconstrucción
- Comparación de formatos Cerrejón de las diferentes etapas, con lo estipulado por Cummins en el QSOL (quick serve on line)
- Revisión de la utilización de formatos de Cerrejón en las diferentes etapas del Flujograma en cada una de las órdenes de trabajo entregadas por el cliente.
- Revisión de seguimiento de procedimientos en cada etapa del proceso siguiendo el formato Cerrejón y comparándolo con el descrito en QSOL
- Revisión del control de contaminación durante el proceso
- Preparación y presentación de informe

4.2 REVISIONES EN CAMPO

Revisar las actividades que realizan en cerrejón en el proceso de revisión, diagnóstico y reparación en campo de un motor para encontrar oportunidades de mejora en la cadena.

4.2.1 Plan de Trabajo

- Entrevista a los ingenieros de confiabilidad palas Hitachi y palas Komatsu para identificación de parámetros del minecare. (configurar parámetros de snapshot del MineCare que se relacionen con alarmas puntuales)
- Acompañamiento al personal de confiabilidad de cerrejón junto con Técnico Cummins y revisar el procedimiento seguido según formatos cerrejón en la inspección del motor
- Acompañamiento al técnico de Cummins en la descarga y análisis de la información descargada de los ECM

- Acompañamiento al Técnico Cummins en seguimiento a diagnóstico de códigos de falla, siguiendo los lineamientos del Troubleshooting.
- Revisión del control de contaminación durante el proceso
- Recomendaciones

4.3 REVISION TALLER DE RECONSTRUCCION

4.3.1 Requerimientos al Cliente

- Flujograma del proceso de reconstrucción: NA
- Formatos de cerrejón utilizados en las diferentes etapas del Flujograma: Formatos Recibidos
- Acceso a las instalaciones de los talleres de reconstrucción para revisión de las etapas del proceso: Autorización concedida
- Cuatro órdenes de trabajo, 2 de las cuales los motores se encuentren en proceso de desarme y evaluación mientras los otros 2 se encuentren en proceso de armado: Se realizó revisión de OTRD041902 Motor QSK50 MCRS ESN 33174998, reparación Total iniciada 2016-08-25
- Aval para realizar entrevistas al personal encargado de las diferentes etapas del proceso: Se realizó entrevista con Técnicos asignados al armado de la OT en mención y con personal de maquinado

4.3.2 Revisión al Plan de Trabajo

Revisión del seguimiento al Flujograma del proceso de reconstrucción

- El Cliente no posee un flujograma estipulado

Comparación de formatos Cerrejón de las diferentes etapas, con lo estipulado por Cummins en el QSOL:

- Al comparar los formatos utilizados por cerrejón en Desarme, Evaluación y Armado, se puede notar que el formato Cerrejón trata de facilitar al usuario el paso a paso, mas se observa que el formato no tiene completas las etapas de evaluación, esto puede llevar a incorrecta evaluación de reusabilidad de partes.
- Formato indica que mediciones, evaluación de estado y reusabilidad de las partes se realizan o durante el desarme sino durante el proceso de armado del

motor, esto puede llevar a demoras en el proceso de armado de encontrar se elementos no conformes y que deban ser reemplazados.

- Formato no direcciona al manual de servicio de Cummins para cada paso de evaluación de reusabilidad de las diferentes partes desacopladas del motor, mas muestra valores de las mediciones sin mostrar la manera de realizar dichas mediciones.
- Formato Standard para motores QSK45 y QSK60; aunque el formato indica en secciones algunas diferencias entre los motores, podría llegar a confundir al usuario.
- Formatos tienen PN impresos los cuales pueden haber cambiado con el tiempo.
- Formato de QSK 19 no muestra el paso a paso detallado del arme con gráficos como lo muestra el formato de motores QSK45 y QSK60

Revisión de seguimiento de procedimientos en cada etapa del proceso siguiendo el formato Cerrejón y comparándolo con el descrito en QSOL.

- Durante el seguimiento al proceso de Armado del motor ESN 33174998, se notó que el personal no revisa los procedimientos en tiempo real en QSOL ni tampoco en Manual de servicio impreso sino que se vale de la experiencia adquirida en el pasado.
- Durante inspección del motor ESN 33174998, se nota que, por la no utilización del manual de servicio durante la etapa de evaluación del bloque, superficies no aptas para el armado del motor se encontraron en el upper y lower counterbore del bloque.

Figura 26. Tabla de contenido quick serve de cummins



001-027 Cylinder Block and Liner Seats

Table of Contents

Preparatory Steps

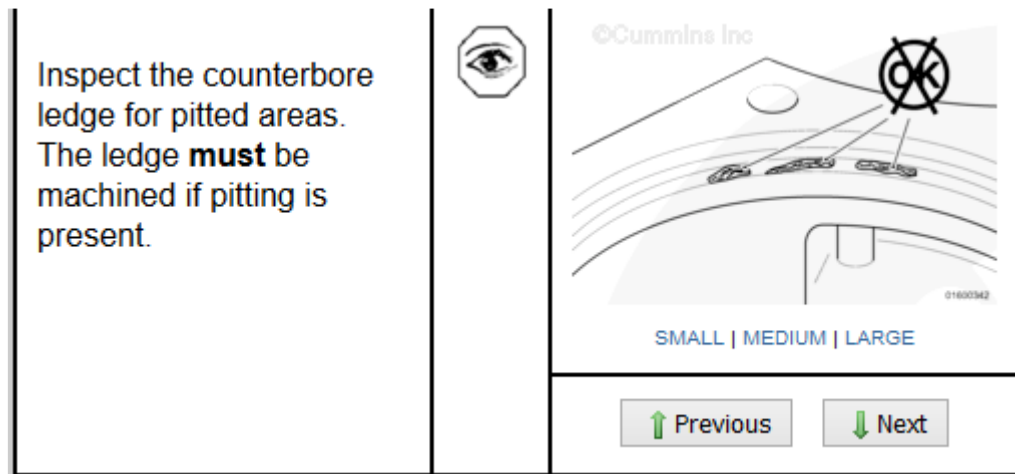
Clean and Inspect for Reuse

Measure

Leak Test

Fuente. <https://quickserve.cummins.com>, abril del 2017.

Figura 27. Inspección quick serve de cummins



Fuente: <https://quickserve.cummins.com>, abril del 2017.

Figura 28. Contenido quick serve de cummins



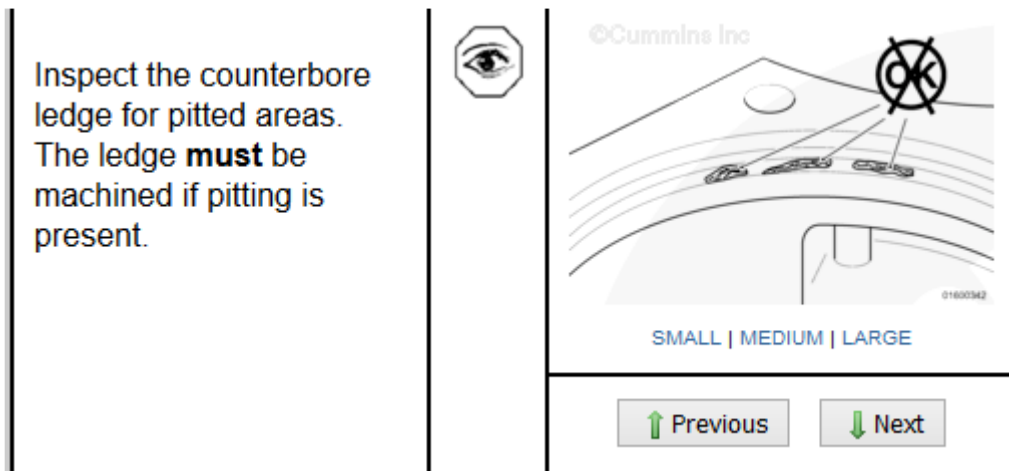
001-027 Cylinder Block and Liner Seats

Table of Contents

- Preparatory Steps
- Clean and Inspect for Reuse
- Measure
- Leak Test

Fuente. <https://quickserve.cummins.com>, abril del 2017.

Figura 29. Inspección counterbore quick serve de cummins



Fuente. <https://quickserve.cummins.com>, abril del 2017.

Figura 30. Imagen counterbore de motor



Fuente. Autores de la monografía

Figura 31. Imagen counterbore de motor



Fuente. Autores de la monografía

Figura 32. Imagen counterbore de motor



Fuente. Autores de la monografía

Figura 33: imagen counterbore de motor



Fuente. Autores de la monografía

Lower Counterbore fue encontrado con superficie con excesiva rugosidad y desprendimiento de material, lo cual hace factible un posible daño en los sellos al momento de ser instalada la camisa, que más adelante puede resultar en paso de refrigerante al aceite.

Revisión del control de contaminación durante el proceso

- Las partes a ser utilizadas en el armado se encontraban en estantes, la mayoría bien dispuesta y protegida, otras mostraban poca protección, además que el rollo ver utilizado tenía bastante polvo en su superficie, polvo el cual puede ser transferido a las diferentes partes del motor al ser ensambladas.

Figura 34. Estante de partes taller de reconstrucción



Fuente. Taller de reconstrucción de motores cerrejón

Figura 35. Banco de inspección sistema de escape



Fuente. Taller de reconstrucción de motores cerrejón

Figura 36. Banco base de motor



Fuente. Taller de reconstrucción de motores cerrejon

4.3.3 Sugerencias

- Establecer un Flujograma definido y socializarlo al personal involucrado.
- Implementar el uso de un computador en las diferentes etapas del proceso para verificar los pasos en el manual de Servicio del QSOL, preferiblemente teniendo estación en cada bahía para su fácil acceso.
- Realizar entrenamiento en QSOL, haciendo énfasis en el uso del manual de servicio para búsqueda de desarme y armado a los técnicos que se encuentren asignados al proceso de reconstrucción
- Realizar entrenamiento a personal de reconstrucción y área de maquinado en Curso teoría y estructura de bloques y guías de reusabilidad.
- Utilizar los ESN, de cada motor a ser procesado, para buscar el manual de servicio en el QSOL que aplique para las diferentes etapas de Desarme, Evaluación y Arme de dicho ESN.

- Crear formato sin dependientes para cada modelo de Motor
- Utilizar el manual de servicio de cada ESN en QSOL para las etapas de desarme, Evaluación y Armado para los pasos a seguir en cada etapa, mientras se utiliza un formato de consignación de datos encontrados (Dicho formato debe ser creado para cada tipo de motor).
- No imprimir PN en los formatos, ya que estos pueden cambiar y se seguirían pidiendo PN obsoletos en las reparaciones; o de querer seguir con la impresión de los PN en los formatos, tener presente a una persona que revise periódicamente los PN establecidos en el QSOL y realice las modificaciones al formato cuando sea necesario.

Después de las sugerencias realizadas a cerrejón. Se ha corroborado que muchas de las observaciones se han estado corrigiendo y aplicando procedimientos como los sugiere cummins para la reparación de sus motores. Con la propuesta inicial de la aplicación del RCM para la reparación de los modelos de los motores QSK 45, 50 y 60 cerrejón decidió aplicar esta misma metodología a otros modelos de motores cummins. Los cuales tiene en su operación en otros equipos como lo son los perforadores.

Estos son equipos que perforan el terreno estéril hasta encontrar el manto de carbón, para posteriormente agregar explosivos para la voladura del material estéril que permitirá la remoción del mismo para poder sacar el carbón. Estos equipos usan motores cummins más pequeños (QSK19). Estos también son reparados por cerrejón presentan baja confiabilidad en sus reparaciones. Los cuales están en un promedio de vida después de reparado entre las 1000 y 3000 horas. Afectando este tipo de fallas en la disponibilidad de la flota y productividad de la mina.

Con lo anterior mencionado se proporciona información de lo que se ha implementado para la reparación de este tipo de motores en el taller de reconstrucción.

Durante este año se hicieron las siguientes propuestas:

4.4 PLAN REVISION PROCESO DE REPARACION Y CONFIABILIDAD FLOTA TALADROS-CERREJON 2017

4.4.1 TALLER DE RECONSTRUCCION

Revisar si las siguientes sugerencias realizadas luego de la revisión previa realizada en octubre de 2016 fueron o están siendo implementadas en el proceso de reconstrucción de componentes:

- Establecer un flujograma definido y socializarlo al personal involucrado.
- Implementar el uso de un computador en las diferentes etapas del proceso para verificar los pasos en el manual de Servicio del QSOL, preferiblemente teniendo estación en cada bahía para su fácil acceso.
- Realizar entrenamiento en QSOL, haciendo énfasis en el uso del manual de servicio para búsqueda de desarme y armado a los técnicos que se encuentren asignados al proceso de reconstrucción
- Realizar entrenamiento a personal de reconstrucción y área de maquinado en Curso teoría y estructura de bloques y guías de reusabilidad.
- Utilizar los ESN, de cada motor a ser procesado, para buscar el manual de servicio en el QSOL que aplique para las diferentes etapas de Desarme, Evaluación y Arme de dicho ESN.
- Crear formatos independientes para cada modelo de Motor
- Utilizar el manual de servicio de cada ESN en QSOL para las etapas de desarme, Evaluación y Armado para los pasos a seguir en cada etapa, mientras se utiliza un formato de consignación de datos encontrados (Dicho formato debe ser creado para cada tipo de motor).

•No imprimir PN en los formatos, ya que estos pueden cambiar y se seguirían pidiendo PN obsoletos en las reparaciones; o de querer seguir con la impresión de los PN en los formatos, tener presente a una persona que revise periódicamente los PN establecidos en el QSOL y realice las modificaciones al formato cuando sea necesario.

Revisar si estas sugerencias fueron extrapoladas a la flota de taladros.

Si estas sugerencias no se han implementado en la flota de taladros, revisar las siguientes etapas del proceso:

- Recepción de motor es en el taller de reconstrucción.
- Lavado
- Desarme y Evaluación
- Almacenamiento
- Ensamble
- Pruebas

Recomendaciones

4.5 REVISIONES EN CAMPO/PROCESO DE CONFIABILIDAD

4.5.1 Revisión de estrategias. Revisar qué estrategias se está teniendo en cuenta para realizar seguimiento a la salud del motor, teniendo en cuenta los siguientes ítems:

- Inspecciones periódicas (Operador, diarias, Pre-PM).
- Revisión de formatos y ruta crítica de inspección.
- Revisar frecuencia de ejecución y seguimiento.
- Administración de fluidos. Teniendo en cuenta lo siguiente:
- Muestreo y cambios de aceite (Frecuencias)
- Corte e inspección de filtros

- Consumos tanto de refrigerante como de aceite motor
- Muestreo de refrigerante (Frecuencia)
- Límites para variables de desgaste, contaminantes y condición del aceite.
- Análisis de datos electrónicos
- Análisis de modo de fallas y planes de acción cuando lo requiera.
- Pruebas de desempeño (Tendencias de variables–PM)
- Intervalo de cambio de componentes por horas de servicio que impliquen un impacto alto a la disponibilidad y confiabilidad del motor (Alternador, motor de arranque, bomba de agua, bomba de combustible cuando aplique)

4.5.2 Entrevista. Reunirse con el ingeniero de confiabilidad para revisar si hay alguna manera de identificación de parámetros del minecare. (configurar parámetros de snapshot del MineCare que se relacionen con alarmas puntuales del motor)

4.5.3 Acompañamiento. Para el personal de confiabilidad de cerrejón junto con Técnico Cummins y revisar el procedimiento seguido según formatos cerrejón en la inspección del motor.

Acompañamiento al técnico de Cummins en la descarga y análisis de la información descargada de los ECM.

Acompañamiento al Técnico Cummins en seguimiento a diagnóstico de códigos de falla, siguiendo los lineamientos del Troubleshooting.

Revisión del control de contaminación durante el proceso.

Recomendaciones.

Tabla 5. Actividades para implementación plan de mejora

ACTIVIDAD	TIEMPO APROXIMADO	FECHA SUGERIDA
REVISION TALLER DE RECONSTRUCCION	3 Semanas	14 Feb - 24 Mar
Revisión sugerencias del proceso de reconstrucción de componentes y si se extrapoló al proceso de taladros	1 Semana	14 - 17 Febrero
Revisar etapas del proceso de acuerdo al plan de trabajo anterior de acuerdo a lo implementado por Cerrejon	2 Semanas	28 Feb - 03 Mar 13 - 16 Mar
Recomendaciones	1 Semana	21 - 24 Mar
REVISIONES EN CAMPO / PROCESO DE CONFIABILIDAD	5 Semanas	27 Mar - 5 May
Revisar qué estrategia se está teniendo en cuenta para realizar seguimiento a la salud del motor	1 Semana	27 - 31 Mar
Entrevista con el ingeniero de confiabilidad para revisar si hay alguna manera de identificación de parámetros del mine care. (configurar parámetros de snapshot del Mine Care que se relacionen con alarmas puntuales del motor)		
Acompañamiento al personal de confiabilidad de cerrejón junto con Técnico Cummins y revisar el procedimiento seguido según formatos cerrejón en la inspección del motor.	3 Semanas	Abril: 3 - 6 17 - 20 24 - 27
Acompañamiento al técnico de Cummins en la descarga y análisis de la información descargada de los ECM.		
Acompañamiento al Técnico Cummins en seguimiento a diagnóstico de códigos de falla, siguiendo los lineamientos del Troubleshooting.		
Revisión del control de contaminación durante el proceso.		
Recomendaciones	1 Semana	2 - 5 May
REUNIÓN DE CIERRE Y COMPROMISOS	1 - 2 días de la semana	15 - 18 May

Fuente: Formato de actividades de seguimiento Cummins

Después de socializar la propuesta se han realizado varias reuniones, donde se han tomado diferentes acciones implementadas ya y otras en proceso.

4.5.4 REUNIONES

4.5.4.1 REUNION PREVIA 1

- Seguimiento a planes de acción para el mejoramiento del proceso de reconstrucción de componentes
- Divulgación plan de trabajo proceso de mantenimiento taladros

COMENTARIOS

- Se hizo una revisión del plan de acción generado por el assestment que realizó anteriormente CNC.
- Se realizó la divulgación del plan de trabajo enfocado en el mejoramiento del proceso de mantenimiento de taladros.
- Hubo unos puntos que por la operación y dinámica del proceso no se pudieron llevar a cabo. Por lo tanto, se adaptará el plan de acuerdo a las necesidades del taller.
- A continuación se muestra el estado de los planes de acción.

Tabla 1. Plan de Acción

Plan	Descripción	Ejecutado / En proceso / Pendiente / Redefinir	Comentarios
1	Establecer un Flujograma definido y socializarlo al personal involucrado.	Ejecutado	Se extrapoló a los demás procesos de reconstrucción
2	Implementar el uso de un computador en las diferentes etapas del proceso para verificar los pasos en el manual de Servicio del QSOL, preferiblemente teniendo estación en cada bahía para su fácil acceso.	Redefinir	Por la no disponibilidad de computadores, se planteó la actualización de los formatos/instructivos de manera periódica en conjunto con CNC.
3	Realizar entrenamiento en QSOL, haciendo énfasis en el uso del manual de servicio	Pendiente	Pendiente Enviar Cotización por parte de CNC.

	para búsqueda de desarme y armado a los técnicos que se encuentren asignados al proceso de reconstrucción.		
4	Realizar entrenamiento a personal de reconstrucción y área de maquinado en Curso teoría y estructura de bloques y guías de reusabilidad.	Pendiente	Pendiente enviar cotización del curso por parte de CNC. Actualmente, su proceso de reconstrucción de bloques ha dado resultados (Reconstrucción con Benzona). Sin embargo, no hay una estadística para confirmar cuantas horas han durado los bloques con este proceso Vs motores reparados de acuerdo a recomendación de fábrica

5	Utilizar los ESN, de cada motor a ser procesado, para buscar el manual de servicio en el QSOL que aplique para las diferentes etapas de Desarme, Evaluación y Arme de dicho ESN.	Redefinir	El cliente utiliza un número de serie de motor típico (por paquete de seriales) con el cual se piden las partes necesarias para la reparación. Por la no disponibilidad de computadores, no se utiliza el QSOL.
6	Crear formatos independientes para cada modelo de Motor	Ejecutado	Pendiente revisión con personal de taller.
7	Utilizar el manual de servicio de	Redefinir	No hay disponibilidad de

	<p>cada ESN en QSOL para las etapas de desarme, Evaluación y Armado para los pasos a seguir en cada etapa, mientras se utiliza un formato de consignación de datos encontrados (Dicho formato debe ser creado para cada tipo de motor).</p>		<p>computador ni accesos para el QSOL. Anualmente se actualiza el formato y procedimientos. Oportunidad para actualizarlos con mayor frecuencia.</p>
8	<p>No imprimir PN en los formatos, ya que estos pueden cambiar y se seguirían pidiendo PN obsoletos en las reparaciones; o de querer seguir con la impresión de los PN en los formatos, tener presente a una persona que revise periódicamente los PN establecidos en el QSOL y realice las modificaciones al formato cuando sea necesario.</p>	<p>Redefinir</p>	<p>Se retiraron los números de parte de cada formato. Por otro lado, el cliente maneja una lista de partes por aplicación (APL). Este listado se encuentra en el software ELIPSE. Las actualizaciones de los parte número se hace a través de bodega cada vez se realiza una compra por medio de CNC. Si hay un P/N que está discontinuado, CNC le informa la actualización del mismo. Cuando se manda un boletín de servicio, se verifica con bodega y se actualizan los números de parte. Oportunidad de mejora: Envío de listado de partes críticas (APL) a CNC</p>

			para realizar actualizaciones a los números de parte periódicamente.
--	--	--	--

Fuente. Formato de seguimiento cummins

Tabla 2. Compromisos primera reunión

ACTIVIDAD	FECHA COMPROMISO	RESPONSABLE	FECHA DE
			VERIFICACION
1. Envío de cotización para entrenamiento en QSOL y guías de reusabilidad de bloques	23/02/17	Arlington P / Juan M.	
2. Enviar cotización de técnico 5X2 para inspecciones de taladros	20/02/17	Eduin G / Cristian N.	
3. Realizar revisión en taller de las mejoras ejecutadas y generación de otras oportunidades que se presenten.	01/03/17	Jesus G. / Armando G.	
4. Enviar listado de partes críticas para actualizar (APL) y definir intervalos de actualización.	23/02/17	William N / Juan M. / Jesús G.	
5. Revisar el status de la licencia para acceder al QSOL del cliente para su renovación.	23/02/17	Irina P / Juan Mass	

Fuente. Formato de seguimiento cummins

4.5.4.2 REUNION PREVIA 2

- Divulgación plan de trabajo proceso de mantenimiento taladros
- Revisión de la estrategia utilizada para seguimiento a la salud del motor.

COMENTARIOS

- Se realizó la divulgación del plan de trabajo enfocado en el mejoramiento del proceso de mantenimiento de taladros.
- Actualmente ya se vienen ejecutando ciertas pautas para el mejoramiento de la confiabilidad de los motores QSK19 de los taladros, tales como aumento en la frecuencia de cambios de aceite, ejecución de inspecciones diarias y cambio de refrigerante.
- A continuación se muestra un diagnóstico inicial de acuerdo a los siguientes puntos del plan.

Tabla 3. Diagnóstico Inicial

Plan	Descripción	Comentarios
1	Inspecciones periódicas (Operador, diarias, Pre-PM).	
2	<input type="checkbox"/> Revisión de formatos y ruta crítica de inspección.	Previamente se realizaron unas recomendaciones en el formato de inspección del operador. Falta revisar el formato de inspección diaria y Pre6 de Cerrejón.
3	<input type="checkbox"/> Revisar frecuencia de ejecución y seguimiento.	Actualmente se están realizando 2 inspecciones por día. Sin embargo, no se definen previamente que equipos se van a inspeccionar.
4	Análisis y seguimiento de fluidos:	

5	<input type="checkbox"/> Muestreo y cambios de aceite (Frecuencias)	Cada 250 Hrs
6	<input type="checkbox"/> Corte e inspección de filtros	No se está ejecutando. Se realizó la recomendación de realizarlo en cada cambio de aceite.
7	<input type="checkbox"/> Consumos tanto de refrigerante como de aceite motor	Actualmente se lleva un registro de consumos de fluidos.
8	<input type="checkbox"/> Muestreo de refrigerante (Frecuencia)	Cada 250 Hrs. Actualmente sus equipos no poseen un puerto específico para toma de muestra de refrigerante. Como plan de acción del cliente, se va a realizar el cambio de este fluido cada 750 Hrs luego de haber hecho el barrido de cambios de todos sus equipos.
9	<input type="checkbox"/> Límites para variables de desgaste, contaminantes y condición del aceite.	Laboratorio de aceites de Cerrejón tienen sus límites establecidos para variables de desgaste.
10	Análisis de datos electrónicos:	Cada vez que hay un PM o ventana de oportunidad se hace la descarga de las imágenes del ECM. Sin embargo, el cliente no conoce que se realiza con esa información, ya que no tiene las herramientas para hacer el análisis de los mismos. Por la tecnología que tienen los motores, únicamente se pueden observar códigos de falla y no tendencias.

		<p>Por otro lado, aún no se conoce cuál es el protocolo de comunicación para hacer el link con el mine care.</p>
<p>11</p>	<p>Análisis de modo de fallas y planes de acción cuando lo requiera.</p>	<p>No se realizan planes de acciones o correcciones a problemas repetitivos o de alto impacto en la disponibilidad y confiabilidad del motor en cada mes (Top Ten problemas). El cliente manifiesta que el software ELIPSE arroja un histórico de mantenimiento general sin especificar el tipo de falla que ocurrió en el equipo relacionado con el sistema motor. Sin embargo, con el registro de incidentes en su sistema se podría extraer esta información (backlogs). Por otro lado, la falla específica del motor se coloca en los reportes de campo. No hay digitación de los mismos.</p> <p>El cliente manifestó que el año 2016 tuvieron fallas con las bombas de combustible de los motores MCRS. Cuando se presentaba este modo de falla se decidía remover completamente el motor dependiendo de las horas del motor, ya que la bomba de combustible representa un costo muy alto en la reparación del</p>

		motor.
12	Pruebas de desempeño (Tendencias de variables – PM)	No se están midiendo y haciendo seguimiento a ciertos parámetros para el monitoreo de condiciones del motor, tales como blow-by, medición del juego axial del cigüeñal, revisión de presiones. En el PM se realiza monitoreo por medio de INSITE durante las pruebas de rendimiento.
13	Intervalo de cambio de componentes por horas de servicio que impliquen un impacto alto a la disponibilidad y confiabilidad del motor (Alternador, motor de arranque, bomba de agua, bomba de combustible cuando aplique)	No hay cambios preventivos, todos los componentes se llevan a falla. Se ofreció realizar mid-life en los motores, ya que según experiencia del cliente hubo muy buenos resultados en el pasado con esta práctica. Se necesita por parte de cerrejón el listado de motores y horas de servicio actuales de cada uno.

Fuente. Formato de seguimiento cummins

Tabla 4. Compromisos

ACTIVIDAD	FECHA COMPROMISO	RESPONSABLE	FECHA DE
			VERIFICACION
1. Enviar listado de motores con las horas de operación y fecha de instalación que actualmente tiene Cerrejón	22/02/17	Arturo A / Heriberto R / Julio A	
2. Enviar formatos de inspección diaria y Pre-PM o Pre6 de los taladros para su revisión.	22/02/17	Arturo A / Heriberto R / Julio A	
3. Enviar histórico de registros de incidentes por máquina, registro de consumos de refrigerante y aceite del año 2016.	01/03/17	Arturo A / Heriberto R / Julio A	
4. Envío de cotización para realizar mid-life a los motores QSK19 flota de taladros.	24/02/17	Angel O / Cristian N	
5. Revisar frecuencia de medición parámetros de motor: Blow-By, juego axial de cigüeñal, presiones y temperaturas del sistema	21/02/17	Jesus G / Juan Mass / Armando G.	
6. Revisar y definir qué herramientas se necesitan para la medición de blow-by	21/02/17	Armando G / Eduin G.	
7. Dar a conocer al cliente el protocolo de comunicación de los motores QSK19 de la flota de taladros	21/02/17	Juan M	
8. Revisar en qué punto del motor o máquina se puede tomar muestras de refrigerante. Enviar listado de partes necesarias para cotizar e implementarlo.	23/02/17	Armando G. / Jose R	

ACTIVIDAD	FECHA COMPROMISO	RESPONSABLE	FECHA DE
			VERIFICACION
<ul style="list-style-type: none"> • Enviar listado de motores con las horas de operación y fecha de instalación que actualmente tiene Cerrejón 	22/02/17	Arturo A / Heriberto R / Julio A	
<ul style="list-style-type: none"> • Enviar formatos de inspección diaria y Pre-PM o Pre6 de los taladros para su revisión. 	22/02/17	Arturo A / Heriberto R / Julio A	
<ul style="list-style-type: none"> • Enviar histórico de registros de incidentes por máquina, registro de consumos de refrigerante y aceite del año 2016. 	01/03/17	Arturo A / Heriberto R / Julio A	
<ul style="list-style-type: none"> • Envío de cotización para realizar mid-life a los motores QSK19 flota de taladros. 	24/02/17	Angel O / Cristian N	
<ul style="list-style-type: none"> • Revisar frecuencia de medición parámetros de motor: Blow-By, juego axial de cigüeñal, presiones y temperaturas del sistema 	21/02/17	Jesus G / Juan Mass / Armando G.	
<ul style="list-style-type: none"> • Revisar y definir qué herramientas se necesitan para la medición de blow-by 	21/02/17	Armando G / Eduin G.	
<ul style="list-style-type: none"> • Dar a conocer al cliente el protocolo de comunicación de los motores QSK19 de la flota de taladros 	21/02/17	Juan M	
<ul style="list-style-type: none"> • Revisar en qué punto del motor o máquina se puede tomar muestras de refrigerante. Enviar listado de partes necesarias para cotizar e implementarlo. 	23/02/17	Armando G. / Jose R	

Fuente. Formato de seguimiento cummins

A continuación se muestran el status de los compromisos de la reunión.

Tabla 5. Compromisos

ACTIVIDAD	Pendiente / En ejecución / Realizado	OBSERVACIONES
<ul style="list-style-type: none"> • Enviar listado de motores con las horas de operación y fecha de instalación que actualmente tiene Cerrejón 	Pendiente	Xelenne Garcia (planeación) / J. Ariza pueden suministrar esta información
<ul style="list-style-type: none"> • Enviar formatos de inspección diaria y Pre-PM o Pre6 de los taladros para su revisión. 	En ejecución	<p>Las inspecciones diarias se ejecutan durante la lubricación (en máquina operativa), y se realiza únicamente un barrido por el sistema de admisión (filtros). Sin embargo, no es aplicable para su departamento un formato.</p> <p>Por otro lado, Hay un formato de Pre6 el cual es diligenciado cada vez que se hace esta actividad. Falta su revisión</p>

<ul style="list-style-type: none"> • Enviar histórico de registros de incidentes por máquina, registro de consumos de refrigerante y aceite del año 2016. 	<p>En ejecución.</p>	<p>ELIPSE puede mostrar un reporte de todos los incidentes, el cual puede ser de utilidad e importancia para monitorear cumplimiento de los mismos. El código para hacerlo es MOTR.</p> <p>Hay varias personas que registran incidentes sin tener un procedimiento estándar. No se registra de esta forma.</p> <p>Reconstrucción o análisis de falla mantenimiento pueden tener las causas de las fallas de los motores removidos.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Envío de cotización para realizar mid-life a los motores QSK19 flota de taladros. 	<p>En ejecución</p>	<p>Ya se envió la cotización. En promedio los QSK19 HPI se encuentran establecidos a 12.000 hrs. Sin embargo, desde el 2014 al 2015 su vida ha llegado en promedio en 6.000 hrs. Revisar tiempo estándar de reparación, costo y a cuantas horas se tendría que parar.</p> <p>Los Tier 3 (MCRS) en promedio se han bajado a 16.000 hrs. El fabricante recomienda que se cambie a las 14.000 hrs.</p>

<ul style="list-style-type: none"> Revisar frecuencia de medición parámetros de motor: Blow-By, juego axial de cigüeñal, presiones y temperaturas del sistema 	Realizado	<ul style="list-style-type: none"> - Presiones y temperaturas del sistema (Cada 250 Hrs) Presión de aceite en la cabina y en el PM está el campo. - Juego axial (Cada 1000 hrs – tener en cuenta el acople que existe lado y lado del motor) - Medición flujo blow-By (Cada 500 Hrs).
<ul style="list-style-type: none"> Revisar y definir qué herramientas se necesitan para la medición de blow-by 	Realizado	Herramienta completa en sitio
<ul style="list-style-type: none"> Dar a conocer al cliente el protocolo de comunicación de los motores QSK19 de la flota de taladros 	Realizado	Se envió por correo. QSK19 MCRS – J1939 QSK19 HPI – J1708 y modelo (Quantum)
<ul style="list-style-type: none"> Revisar en qué punto del motor o máquina se puede tomar muestras de refrigerante. Enviar listado de partes necesarias para cotizar e implementarlo. 	Pendiente	Pendiente por enviar

Fuente. Formato de seguimiento cummins

Otros puntos tratados adicionales a los compromisos pactados:

- Por lo general no está presente el personal de Cummins en las inspecciones programadas Pre6, ya que previamente dicho personal tiene una ruta definida. Nota: La inspección Pre6 se ejecuta cuando la máquina está operativa y se realiza una semana antes del PM.
- En las últimas inspecciones, personal de Cummins está digitando los incidentes (backlogs) como prioridad P1 y sin los P/N. Este tipo de prioridad se coloca cuando la actividad debe hacerse dentro de los 5 días luego del reporte. La prioridad P2 se coloca cuando hay repuesto en stock. Todos los días llegan correos por incidentes P1.

- Técnicos de Cummins no van a los PM de taladros, por lo tanto no hay control de los incidentes.
- Averiguar por la falla del T35.
- T27 se le va a cambiar el motor. Ya superó las horas de servicio promedio.
- La frecuencia del muestreo de aceite se va a realizar semanal por un mes más. En los resultados de las muestras se están colocando la fecha del cambio de aceite. Se soporta con W. Niño si hay algo anormal.
- No se ha realizado el barrido total para el cambio de refrigerante. Solo van 5 equipos Ya se abrió el MST (tarea de mantenimiento programada)
- Se le comunicó con Heriberto Rodriguez para incluir al minecare para el monitoreo de parámetros de motor los siguientes: Presión de aceite, presión al cárter, temperaturas de aceite y refrigerante.

Otros puntos tratados adicionales a los compromisos pactados:

- Por lo general no está presente el personal de Cummins en las inspecciones programadas Pre6, ya que previamente dicho personal tiene una ruta definida. Nota: La inspección Pre6 se ejecuta cuando la máquina está operativa y se realiza una semana antes del PM.
- En las últimas inspecciones, personal de Cummins está digitando los incidentes (backlogs) como prioridad P1 y sin los P/N. Este tipo de prioridad se coloca cuando la actividad debe hacerse dentro de los 5 días luego del reporte. La prioridad P2 se coloca cuando hay repuesto en stock. Todos los días llegan correos por incidentes P1.
- Técnicos de Cummins no van a los PM de taladros, por lo tanto no hay control de los incidentes.
- Averiguar por la falla del T35.
- T27 se le va a cambiar el motor. Ya superó las horas de servicio promedio.

- La frecuencia del muestreo de aceite se va a realizar semanal por un mes más. En los resultados de las muestras se están colocando la fecha del cambio de aceite. Se soporta con W. Niño si hay algo anormal.
- No se ha realizado el barrido total para el cambio de refrigerante. Solo van 5 equipos Ya se abrió el MST (tarea de mantenimiento programada)
- Se le comunicó con Heriberto Rodriguez para incluir al minecare para el monitoreo de parámetros de motor los siguientes: Presión de aceite, presión al cárter, temperaturas de aceite y refrigerante.

Tabla 6. Compromisos Adicionales

ACTIVIDAD	FECHA COMPROMISO	RESPONSABLE	FECHA DE
			VERIFICACION
1. Revisión formato Pre6 y recomendaciones	17/03/17	Jesus G.	
2. Revisar tiempo estándar de reparación, costo y a cuantas horas se tendría que parar para realizar el Mid-Life QSK19 HPI	20/03/17	Jesus G / Juan M	
3. Realizar procedimiento estándar para que se incluya en registro de incidentes el código MOTR cuando se realice el ingreso en el sistema	17/03/17	Julio A.	
4. Retroalimentar a los técnicos el correcto diligenciamiento de los incidentes, colocando el listado de partes necesarios y prioridad adecuada. No colocar P1 a menos que se deba realizar dentro de los 5 días de generación del incidente	20/03/17	Armando G. / Jose R.	
5. Realizar el cambio del refrigerante de los demás taladros pendientes	24/03/17	Arturo A. / Julio A.	

6. Incluir al mine care para el monitoreo de parámetros de motor los siguientes: Presión de aceite, presión al cárter, temperaturas de aceite y refrigerante.	24/03/17	Heriberto R / Arturo A	
7. Envío reporte de falla motor taladro T35	24/03/17	Juan M. / Jesús G.	
8. Revisar en qué punto del motor o máquina se puede tomar muestras de refrigerante. Enviar listado de partes necesarias para cotizar e implementarlo.	20/03/17	Armando G. / Jose R.	
9. Enviar listado de motores con las horas de operación y fecha de instalación que actualmente tiene Cerrejón	20/03/17	Xelenne Garcia / Julio A / William N.	
10. Revisar cubrimiento personal técnico para asistencia en los programados de taladros	20/03/17	Armando G. / Jose R.	

Fuente. Formato de seguimiento cummins

4.5.4.3 REUNION PREVIA 3

- Seguimiento a compromisos del acta 021517 relacionado con el seguimiento de las mejoras al proceso de reconstrucción de componentes
- Revisión diagnóstico actual proceso de mantenimiento flota taladros, área motores.

COMENTARIOS

Se hizo una revisión de los compromisos pactados de la reunión pasada mencionados en el acta 021517, los cuales quedaron en el siguiente estatus.

Tabla 7. Comentarios Reunión 3

ACTIVIDAD	Ejecutado / En proceso / Pendiente	OBSERVACIONES
<ul style="list-style-type: none"> Envío de cotización para entrenamiento en QSOL (2 DIAS) y guías de reusabilidad de bloques. 	Ejecutado	El cliente quiere incluir en la capacitación procesos y procedimientos de arme de componentes críticos (Cigüeñal, eje de levas, culatas, pistones)
<ul style="list-style-type: none"> Enviar cotización de técnico 5X2 para inspecciones de taladros 	Ejecutado	En espera de autorización para incluirlo en el presupuesto del departamento de mantenimiento. Dicho técnico va según necesidad de cada flota (palas y taladros)
<ul style="list-style-type: none"> Realizar revisión en taller de las mejoras ejecutadas y generación de otras oportunidades que se presenten. 	En proceso	Pendiente enviar reporte de hallazgos y recomendaciones de la revisión realizada.
<ul style="list-style-type: none"> Enviar listado de partes críticas para actualizar (APL) y definir intervalos de actualización. 	Pendiente	En revisión por parte de CNC
<ul style="list-style-type: none"> Revisar el status de la licencia para acceder al QSOL del cliente para su renovación. 	Ejecutado	Licencia está vencida (Taladros). Se envió cotización y se está en espera de la autorización.

Fuente. Formato de seguimiento cummins

- Se revisó el acta 021617 – mejora mantenimiento de taladros, en el cual W. Niño expuso lo siguiente de acuerdo a los puntos mencionados en dicho documento:
- Se requiere montar una estructura administrativa para su proceso de mantenimiento, ya que este departamento hace parte de producción

- En el reporte de SOS debe incluirse la fecha de cambio de aceite.
- Para el análisis de aceites siempre hay soporte con el departamento de mantenimiento, en el cual se analizan las tendencias y combinaciones de metales y contaminantes, sumado a los límites pactados por el fabricante y el laboratorio.
- Heriberto Rodríguez está trabajando en incluir al minicare el monitoreo de parámetros de motor. Se recomienda utilizar 4 parámetros críticos: Presión de aceite, presión al cárter, temperaturas de aceite y refrigerante.
- Como sugerencia de W. Niño, se debe asegurar la inspección adecuada del operador, sumado a que las demás inspecciones y formatos se diligencien de manera correcta y que el mantenimiento sea de calidad.

Tabla 8. Compromisos de la reunión 3

ACTIVIDAD	FECHA COMPROMISO	RESPONSABLE	FECHA DE
			VERIFICACION
Incluir en la cotización de reusabilidad de bloques y QSOL, procedimientos de arme de componentes críticos (Cigüeñal, eje de levas, culatas, línea de potencia)	17/03/17	Max V / Arlintong P.	
Autorización para incluir técnico 5x2 al proceso de inspecciones	Depende autorización Presupuesto	William N	
11. Reporte hallazgos revisión taller reconstrucción, motores taladros	17/03/17	Jesus G.	
12. Revisión listado de partes por aplicación (APL) y definir intervalos de actualización.	23/03/17	Juan M. / Jesús G.	
13. Revisión cotización y autorización para renovar licencia de QSOL área de taladros.	17/03/17	Julio A	

Fuente. Formato de seguimiento cummins

4.6 REVISION MEJORAS IMPLEMENTADAS Y PROCESO TALLER RECONSTRUCCIÓN CERREJÓN

El día 07-Mar 2017, se realizó una inspección al taller de reconstrucción para revisar las mejoras propuestas previamente por CNC.

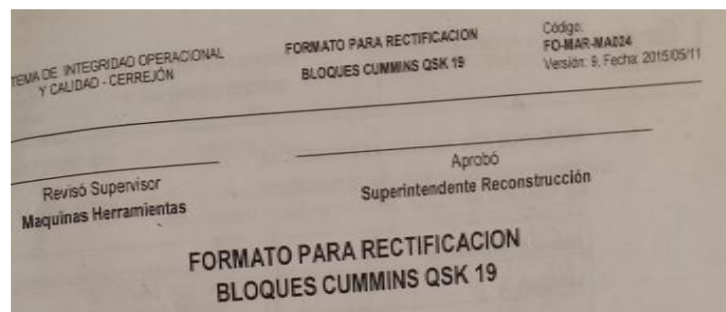
Se revisó con técnico Cerrejón de reparación motores Cummins QSK19 las diferentes etapas del proceso de evaluación de este componente, dando como resultado lo siguiente:

En cada etapa del proceso, los formatos de evaluación son solicitados cuando llega el motor.

- Componentes tales como mandos de bombas, postenfriadores, culatas, cigüeñal y bloques e envían a bahías especializadas.

- Cada bahía tiene su formato, de los cual es el área de bloques está actualizada a fecha de 2015-May-11 (FO-MAR-MA024–Versión9). Se pide acceder al QSOL en etapas críticas del proceso de evaluación de bloques.

Figura 37. Formato rectificación de bloques FO-MAR-MA024



Fuente. Formatos cerrejon

Figura 38. Formato rectificación de bloques FO-MAR-MA024

2. INSPECCION VISUAL
 Criterios de aceptación, instructivo IT-MAR-MA015,
 Ver Manual de Servicio del QSK19, en quickserve.cummins.com.

SIMBOLO DE REFERENCIA	SECCION INSPECCIONADA	CONDICIONES ENCONTRADAS	COMENTARIOS
1	Puestos de bancada		
2	Puestos de culatas		
3	Tornillos de bancada		

Comentarios: _____

Conforme: ___ No Conforme: ___

Recuperables: _____

Técnico: _____ Vo.Bo. Supv./Analista: _____
 (Solo aplica cuando el producto es no conforme)

Fuente. Formatos cerrejon

Estos formatos son solicitados cuando llega el motor/componente a la bahía. Se removieron los números de parte de los mismos.

- Componentes tales como bombas de agua, combustible e inyectores se cambian, independiente de su condición.

- Se adaptó el roll over existente para reparar motores más pequeños como el QSK19.

Figura 39. Roll over motores taller cerrejon



Fuente: taller de reconstrucción cerrejon

Se tienen ambientes controlados con aire acondicionado para evaluar culatas, mandos de bombas y postenfriadores.

- Lo único que se evalúa en culatas es la masa. Sus demás partes como válvulas, resortes, seguros y rotocoils se cambian. Tiene su formato de evaluación asignada

FO-MAR-M067 Versión 9, Fecha: 13/05/20

Figura 40. Culatas de motores rectificadas



Fuente. Taller de reconstrucción cerrejón

Figura 41. Formato de seguimiento de medidas culatas

Genex EMPRESA DE INGENIERIA OPERATIVA, YOMBE: 3 213 070

FORMATO PARA INSPECCION, PRUEBA Y A MEDIDA CULATA CUMMINS NTA-18-19

Código: 10-001-001

Versión: 2008-03-01-02

REGISTRAR CONDICION ENCONTADA:

3.1 Medir espesor de la culata (grupo espes./cilindros pág. 18-40), No. Instrumento:

MEDICION DEL ESPESOR DE CULATA	
Espesor de la culata en: 1.976 mm (1.718 +/- 0.016)	
CULATA 1	CULATA 10
CULATA 2	CULATA 11
CULATA 3	CULATA 12
CULATA 4	CULATA 13
CULATA 5	CULATA 14
CULATA 6	CULATA 15
CULATA 7	CULATA 16
CULATA 8	CULATA 16

REGISTRAR CONDICION CONTRADA:

4. MEDIR PROFUNDIDAD DEL VALVULO; herramienta: calibre de medicion P/N 3076220.
Especificaciones Págs. 18 - 39.

	MIN.	MAX.	REAL
ESPECIFICADO	0.02	0.01 mm-0.004 000	1
REAL			2
			3
			4
			5
			6
			7
			8

Especificaciones pág. 18-28

Fuente. Formatos cerrejón

Bloques y componentes críticos se preservan hasta el momento de su arme.

OPORTUNIDADES DE MEJORA

Impulsadores, varillas de empuje y eje de impulsadores se quedan almacenados en un estante sin ser preservados para evitar corrosión y contaminación externa.

Figura 42. Impulsadores de varillas de empuje



Fuente. Taller de reconstrucción Cerrejón

El estante en donde se guardan los componentes conformes luego de la evaluación se encuentran mezclados, a pesar de estar marcados en la estructura. Tampoco se conoce la etapa del proceso en la cual se encuentran, o si son partes conformes o no conformes.

Figura 43. Estantes de almacenamiento de partes



Fuente. Taller de reconstrucción cerrejon

No hay sitio específico para colocar los ejes de levas conformes, a pesar de que se preserva.

- No hay un procedimiento estandarizado para evaluar postenfriadores. Solamente se hace una inspección visual y prueba hidrostática.

- Se están evaluando componentes metálicos sobre una superficie que no tiene algún aislante para evitar el contacto metal-metal.

No hay sitio específico para colocar los ejes de levas conformes, a pesar de que se preserva.


- No hay un procedimiento estandarizado para evaluar postenfriadores. Solamente se hace una inspección visual y prueba hidrostática.

- Se están evaluando componentes metálicos sobre una superficie que no tiene algún aislante para evitar el contacto metal-metal.

De estas oportunidades se recomienda lo siguiente:


- Preservar con aceite delgado o preservante aquellos componentes metálicos y envolverlos en cinta paletizadora.
- Destinar un lugar para guardar ejes de levas de este tipo de motores mientras se termina las otras etapas de la evaluación del motor
- Identificar componentes conformes y no conformes en estantería, su etapa en el proceso de evaluación del motor y marcar de manera legible las categorías de la misma.
- Estandarizar evaluación de postenfriadores de acuerdo a manual de servicio QSOL para motores QSK19, sección010-008 Aftercooler Element. En ella también se consigna el protocolo de prueba de estos componentes.
- Pegar en las mesas de trabajo láminas de neopreno de aproximadamente 3/8" de espesor para evitar el contacto metal-metal con elementos metálicos, recubierto en la parte superior con plástico hela para poder visualizar contaminantes generados por la evaluación (grasas, aceites, polvo, etc).
- Seguir utilizando el manual de servicio de QSOL en cada etapa de evaluación del motor, ya que en ella se consigna toda la información de servicio actualizada.
- Hacer un barrido de los formatos utilizados en cada proceso de evaluación del motor, y actualizarlos de acuerdo al QSOL aquellos cuya fecha de versión sea mayor a 1 año de antigüedad. Que esta tarea se ejecute ya sea semestral o anual.

Figura 44. Formato de inspección pre-operacional equipos

	SISTEMA DE INTEGRIDAD OPERACIONAL Y CALIDAD - CERREJÓN	REGISTRO DE INSPECCION PREOPERACIONAL DE TALADROS	Código: FO-PD-PV-PE02 Versión 9, Fecha 2015 / 08 / 25
Revisó APS		Aprobó Superintendente P&V	
TALADRO No.	OPERADOR:	GRUPO:	TURNO:
FECHA:		CA PA LI TI	1 2 3 4
EQUIPO APAGADO – OPERADOR EN TIERRA			
√X	INSPECCIONES	COMENTARIOS	
	Verifique nivel de aceite hidráulico.		
	Verifique buen enrutamiento de mangueras aire/agua y soportes de la misma.		
	Verifique adecuado nivel de aceite de compresor, si no observa nivel proceda a dar estarter a motor sin lograr prenderlo y volver a verificar nivel.		
	Inspeccione y verifique estado de escalera, pisos de pasillos y barandas.		
	Verifique funcionamiento de baliza.		
	Verifique tensión de las orugas.		
	Inspeccionar que bastidores estén libres de barro y en buen estado. Verifique existencia de zapatas*.		
	Inspeccionar visualmente estado de platinas guías de la oruga.		
	Verifique existencia de rodillos inferiores.		
	Verifique existencia de pines de la barra actualizable.		
	Verifique existencia de rodillos superiores.		
	Inspeccione visualmente la tensión de las cadenas de empuje y levante.		
	Verifique alineamiento y estado de los estabilizadores y swivel (telones, pasadores, etc).		
	Verifique estado de columna de perforación.		
	Verifique estado de corfinas de plataforma de perforación.		
	Verifique estado de faldones del colector de polvo.		
	Verifique existencia de 4 capsulas actuadoras de nitrógeno del SSI.		
	Verifique existencia de zapatas de cilindros de nivelación.		
	Verifique existencia de tapa y guarda de caja Wiggins, mantención cerrada.		
	Verifique existencia de fugas de los cilindros de nivelación (3).		
	Verifique existencia de aceite en el piso por fugas hidráulicas, de aceite, y/o combustible.		
EQUIPO APAGADO – OPERADOR EN PASILLOS			
√X	INSPECCIONES	COMENTARIOS	
	Verifique nivel y estado de aceite de engranajes caja de bombas y destogue.		
	Verifique existencia de tornillos de fijación de caja de bombas.		
	Verifique nivel de aceite de motor diesel.		
	Verifique estado y sellamiento de funda de varilla medidora y varilla medidora.		
	Verifique existencia de tapas de llenado de aceite de motor diesel.		
	Verifique nivel de refrigerante. Inspección de fugas de refrigerante de motor diesel.		
	Verifique existencia y estado de correas del aire acondicionado.		
	Verifique estado de indicadores de restricción de filtros.		
√X	INSPECCIONES	COMENTARIOS	
	Draino pdvos de caja hidráulica.		

Fuente. Formatos de inspección cerrejón

Figura 45. Formato de inspección pre-operacional equipos

		SISTEMA DE INTEGRIDAD OPERACIONAL Y CALIDAD-CERREJÓN	REGISTRO DE INSPECCION PREOPERACIONAL DE TALADROS	Código: FO-PD-PV-PE02 Versión 9, Fecha 2015 / 08/ 25
		Drane FRL sistema de aire comprimido (Mueguas).		
		Drane FRL sistema de grasa.		
		Verifique que en tanques de combustible no demore por el desfogos.		
		Verifique existencia de fugas de combustible.		
		Verifique estado de manguera de aire en el chasis.		
		Verifique existencia y estado de correas del abanador de corriente.		
		Verifique lubricación de eje pivote mástil.		
		Verifique que los 16 tornillos de la chumacera de pivote mástil se encuentren en su sitio.		
		Verifique nivel de tanque de agua perforación en preparación y durante operación.		
		Drane FR colector de polvo.		
		Verifique existencia y estado de los extintores manuales.		
		Verifique existencia de tornillos de tapa de cilindros de nivelación.		
		Limpie el vaso (oaca) de admisión del aire acondicionado.		
		Verifique existencia y estado de todas las guardas del taladro.		
		Verifique estado de los cilindros de levante mástil.		
		Verifique estado de orejas y seguros del mástil.		
		Verifique existencia y estado de marcha en cabina del operador.		
		Verifique existencia de fugas hidráulicas de aceite, y/o combustible.		
EQUIPO PRENDIDO – OPERADOR EN CABINA				
WX	INSPECCIONES			COMENTARIOS
		Verifique la emisiones de humo del motor diesel, si es anormal, reporte inmediatamente.		
		Verifique nivel de aceite de la rotaria y estado por fugas.		
		Verifique estado del motor de la rotaria por fugas.		
		Verifique nivel de combustible en indicador de cabina.		
		Verifique funcionalidad de alarma sonora en propel.		
		Verifique funcionamiento de luces de diagnóstico.		
		Verifique funcionamiento de sistema de apagado de emergencia.		
		Inspeccione estado de luces de trabajo.		
		Verifique estado de inclinómetros en cabina.		
		Verifique existencia y estado de tornillos del swivel.		
		Inspeccionar estado de cadena oorta de empuje al inicio de turno y durante la operación.		
		Limpie el filtro de rackleje del aire acondicionado.		
		Verifique existencia de fugas de aire/aque en swivel.		
		Verifique funcionamiento del colector de polvo.		
		Verifique estado de los vidrios y hermeticidad de la cabina del operador.		
		*REALIZAR PRUEBA DE BLOQUEO NO PROPULSAR TUBERIA ABAJO, SI ESTA NO FUNCIONA ESTANDARIZAR, SOLO TALADROS DMLSP		
		Verifique funcionamiento de instrumentos de operación en cabina.		
		Verifique estado de eslabones de cadenas de empuje/levante.		
		Verifique estado de la silla del operador.		
		Verifique el funcionamiento del GPS (realizar procedimiento de calibración) FO-PD-PV-PE.22		

Fuente. Formatos de inspeccion cerrejon

4.7 SISTEMAS MONITOREADOS PARA EVALUAR FALLAS REPETITIVAS

4.7.1 Sistema de Aceite Lubricante

Los motores cummins tienen diferentes bombas de aceite lubricante. Todas las bombas están montadas en la base, en la parte trasera del block de cilindros. La bomba es impulsada por un engrane que está montado en la parte trasera del cigüeñal.

4.7.2 Motor de Arranque Integral Prelub

El Motor de Arranque Prelub de Cummins es ahora una característica en todas las aplicaciones industriales/de construcción, aunque está disponible para usarse en casi cualquier industria.

Este sistema se cablea automáticamente al interruptor de arranque existente de la máquina. Una vez que el interruptor se coloca en la posición de "START", el motor de arranque Prelub presurizará automáticamente al motor con presión de aceite. Los pasajes de aceite del motor, filtros del aceite, y todas las partes críticas desde el turbocargador al cigüeñal son presurizadas con aceite antes de que cualquier cosa en el motor se mueva.

4.7.3 Sistema de Combustible Con Inyector Accionado Mecánicamente

En un motor Cummins, la bomba del combustible está calibrada para desempeño especificado. La calibración varía entre aplicaciones y modelos de motor. El desempeño del motor es definido por la Lista de Partes Críticas (CPL) y el código de la bomba de combustible. Esta información puede encontrarse estampada en la placa de datos de la bomba de combustible. El CPL también está estampado en la placa de datos del motor.

La calibración de la bomba de combustible debe estar dentro de las especificaciones publicadas. La calibración de la bomba de combustible es certificada por varias agencias de emisiones.

La bomba de combustible PT (Tipo G) se usa en todos los motores K38 y K50. La bomba de combustible PT (Tipo H) se usó en todos los motores KTTA38, KTA50, y KTTA50. Esta bomba de combustible se reemplazó con una bomba de combustible PT (Tipo G) e inyectores que tienen flujo de drenado reducido.

Si se instalan inyectores con flujo de drenado reducido en un motor, la bomba de combustible PT (Tipo H) se debe reemplazar por una bomba de combustible PT (Tipo G) que esté calibrada apropiadamente.

Cilindros Neumáticos de Accionamiento del Regulador en los motores K38 y K50.

Algunos motores K38 y K50 tienen cilindros neumáticos para accionar la palanca del regulador de la bomba de combustible. Algunos motores tienen dos cilindros neumáticos; uno para control del regulador (colocado más cercano al block de cilindros del motor), y uno para controlar el retardo dinámico (colocado a la distancia más lejana del block de cilindros del motor). Algunos motores únicamente tienen el cilindro para control del regulador.

El cilindro para control del regulador tiene resortes que fuerzan al pistón y a la varilla del cilindro a la posición retraída. Conforme se aplica aire de "0" kPa a 552 kPa ["0" psi a 80 psi] al cilindro, el pistón y la varilla se extienden, moviendo la palanca del regulador desde la posición de ralentí bajo a presión de aire "0" hasta la posición de combustible total a 552 kPa [80 psi]. La cantidad de la extensión variará con la cantidad de presión de aire aplicada a través de la válvula aceleradora del vehículo (válvula principal de pedal).

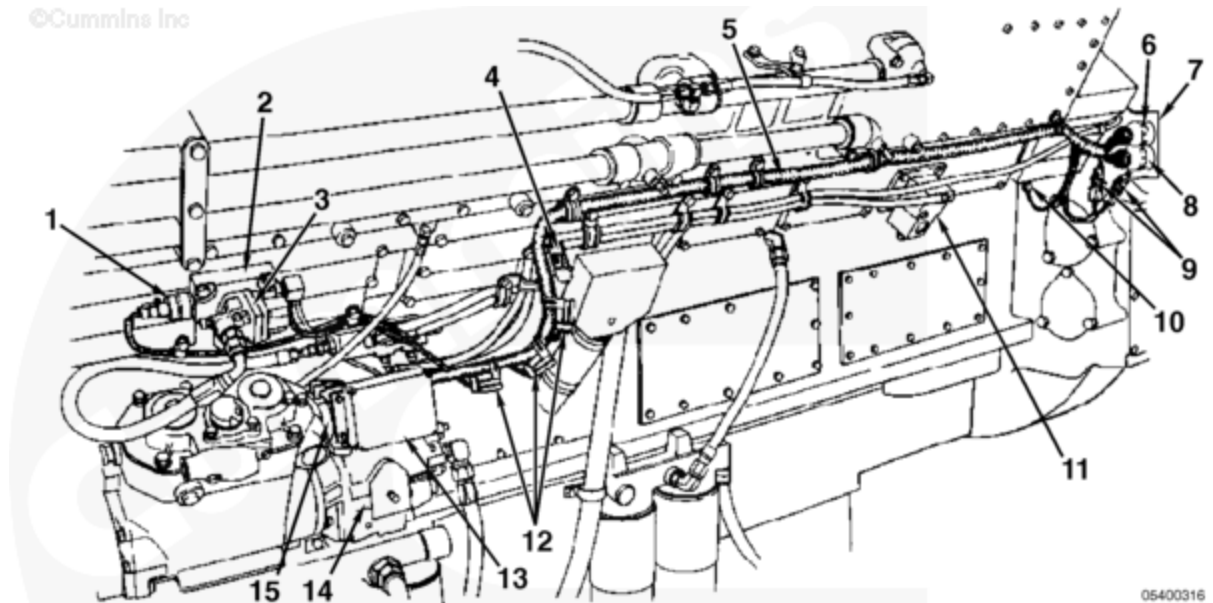
El cilindro neumático del retardo dinámico tiene resortes que fuerzan al pistón y a la varilla del cilindro a la posición extendida. En la posición extendida, el pistón y la

varilla impedirán que la palanca del regulador regrese a la posición de ralentí bajo. Esto ocasiona que el motor opere en las rpm de retardo dinámico especificadas por el fabricante del vehículo. Cuando se aplica presión de aire de 552 kPa [80 psi] al cilindro, el pistón y la varilla se retraen, permitiendo que la palanca del regulador se mueva a la posición de ralentí bajo, si el cilindro neumático del regulador está retraído. El aire para el cilindro de frenado es controlado por una válvula o interruptor colocado en el panel de control del vehículo. Algunos vehículos tienen un interruptor que aplica presión de aire al cilindro de frenado, cuando la velocidad del vehículo es baja.

Algunos de los ensambles más antiguos de cilindro neumático tenían un resorte externo, que estaba conectado a la palanca del regulador de la bomba de combustible y al soporte del cilindro neumático. Este resorte ayudaba a la palanca del regulador a regresar a la posición de ralentí bajo. Los ensambles más recientes de cilindro neumático no tienen este resorte externo, pero tienen un resorte agregado dentro de la carcasa del gobernador de velocidad variable, para empujar el eje del regulador a la posición de ralentí bajo.

Los tubos de ventilación en los cilindros de accionamiento del regulador deben conectarse por medio de una manguera a la tubería de entrada de aire del motor, entre el filtro del aire y el turbocargador. Esta manguera es necesaria para impedir que entre suciedad a los cilindros neumáticos y cause daño al cilindro y a otros componentes. El soporte de montaje de los cilindros de accionamiento está colocado ahora sobre la cubierta del seguidor de levas. Estaba instalado previamente sobre la bomba de combustible.

Figura 46. Sistema de combustible

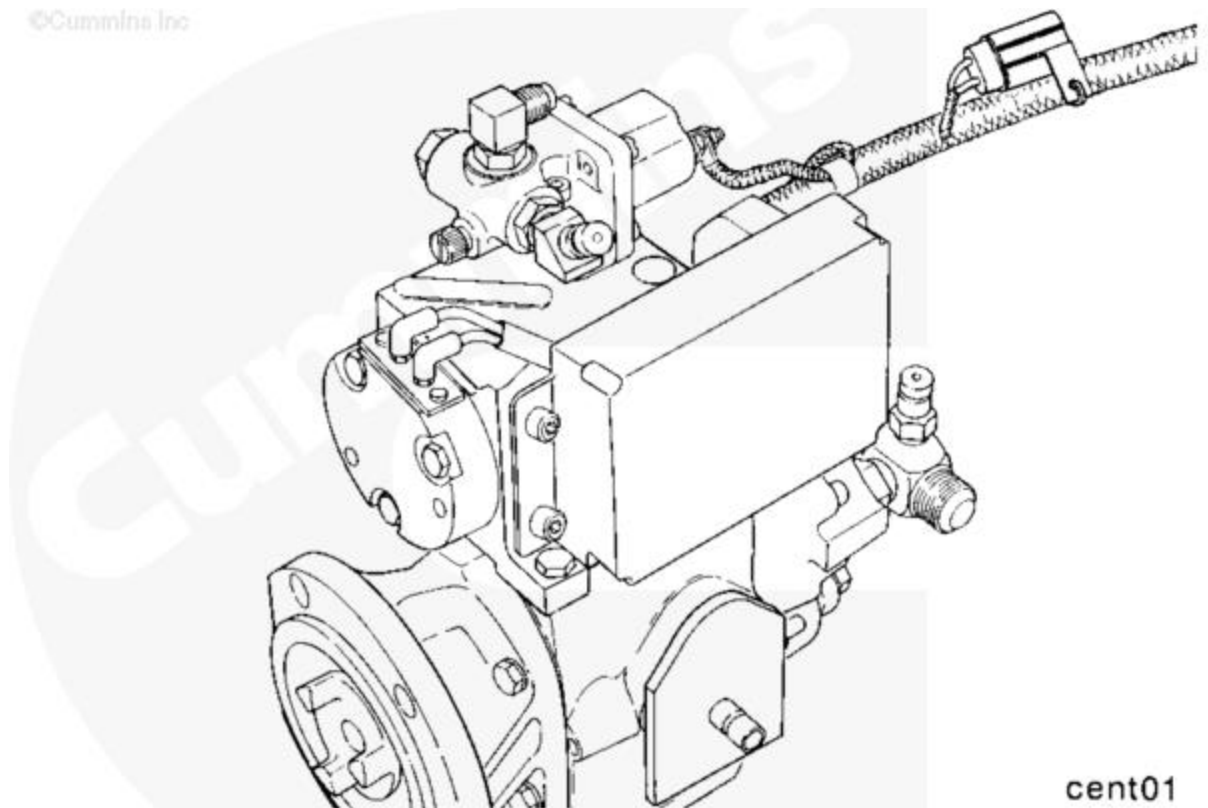


Fuente. www.quickserve.cummins.com Abril de 2017

4.7.4 Sistema de Control CENTRY

1. Sensor de presión 1 del riel de dosificación del inyector
2. Bloque del combustible
3. Válvula de cierre del combustible
4. Conector del enlace de datos, lado del motor
5. Arnés del motor CENTRY™
6. Conector C5
7. Soporte del conector C5 y C6 del OEM
8. Conector C6
9. Conector del sensor de velocidad/posición del cigüeñal del motor
10. Conector de tierra del sistema CENTRY™
11. Actuador STC hidromecánico
12. Fusibles de 5 amperios
13. Módulo de control electrónico (ECM) CENTRY™
14. Bomba del combustible CENTRY™
15. Válvula electrónica de control de combustible.

Figura 47. Centry



Fuente: www.quickserve.cummins.com, Abril de 2017

El sistema CENTRY es un sistema inteligente de control electrónico del motor, diseñado para optimizar el control del motor en equipo para minería, construcción, agrícola, y otro fuera de carretera. El sistema CENTRY™ controla la velocidad del motor y la presión del combustible basado en la entrada del regulador electrónico y en otras características específicas del equipo y/o específicas del modelo de motor.

El sistema CENTRY consiste de subsistemas hidromecánicos y electrónicos. El subsistema electrónico controla el suministro de combustible usando un ECM y

válvula electrónica de control de combustible, mientras que el subsistema hidromecánico control de apoyo para torque y velocidad máximas del motor.

4.7.4.1 Subsistema Hidromecánico

Este subsistema contiene:

1. Bomba del combustible
2. Válvula de cierre del combustible
3. Tubos del combustible
4. Bloque del combustible (montaje del sensor de presión del riel)
5. Control de Avance de Sincronización (STC)
6. Inyectores

4.7.4.2 Subsistema Electrónico

Este subsistema contiene:

1. Módulo de control electrónico (ECM)
2. Arnés del motor
3. Sensor de presión 1 del riel de dosificación del inyector
4. Conector del sensor de velocidad/posición del cigüeñal del motor
5. Válvula electrónica de control de combustible

El sistema CENTRY ha sido diseñado para ambos sistemas eléctricos, 12 y 24 voltios, del fabricante de equipo original (OEM). Los siguientes componentes son diferentes entre los sistemas de 12 y 24 voltios.

1. Módulo de control electrónico (ECM)
2. Válvula electrónica de control de combustible
3. Válvula de cierre del combustible
4. Actuator eléctrico de control de avance de sincronización (STC) (si se usa)

5. Dispositivo de paro auxiliar (si se usa)

Los siguientes componentes son iguales en ambos sistemas, de 12 y 24 voltios.

1. Arnés del motor
2. Sensor de presión 1 del riel de dosificación del inyector
3. Conector del sensor de velocidad/posición del cigüeñal del motor
4. Interconexión del interruptor del regulador del OEM

Componentes de Interconexión del OEM

El sistema CENTRY se conecta al equipo del OEM, a través de los dos conectores de 9 pines del OEM en el arnés del motor.

Con Inyector Accionado Electrónicamente

Los motores QSK38 y QSK50 están equipados con un sistema de combustible modular de riel común. El sistema proporciona control electrónico pleno del motor con inyección de combustible a alta presión.

La bomba de combustible consiste de dos bombas:

- La bomba principal es una bomba de cinco pistones en el QSK50 y una bomba de cuatro pistones en el QSK38 que proporcionan un suministro constante de combustible a los inyectores. La bomba es lubricada por el sistema de aceite del motor. El ensamble de presurización de la bomba de combustible (5) controla el suministro de combustible a ser bombeado, dependiendo de la cantidad de potencia que se requiera. En el caso de que el ECM pierda el control de la presión del sistema, la presión del riel de combustible se elevará rápidamente. Esto causará que la válvula mecánica de descarga (6) se active, regresando combustible al tanque y reduciendo la presión del riel de combustible. Si esto ocurre, la válvula mecánica de

descarga está trabajando apropiadamente, y debe investigarse la causa de la presión incontrolada del sistema.

- Una segunda bomba (2) localizada en la parte posterior es una bomba estilo gerotor que toma combustible del filtro de etapa uno y lo envía a los filtros de etapa dos. La tapa (4) contiene ambos, una válvula de derivación cebadora para permitir que el combustible pase a través del gerotor sin restricción cuando se ceba el sistema con la bomba cebadora, y un regulador de 12 bar [175 psi] que está diseñado para operar únicamente cuando los filtros de combustible están taponados, para impedir ruptura del filtro o daño del gerotor debido a presión excesiva. El arosello (3) proporciona un sello para evitar fugas.

La bomba de combustible suministra aproximadamente 1600 bar [23,000 psi] a los inyectores, lo cual elimina la necesidad de inyección mecánica. El balancín, tubo de empuje, y seguidor de levas han sido eliminados. La inyección es controlada electrónicamente por medio del ECM. Los filtros de combustible consisten de múltiples (2 ó 3) filtros de 7 micras montados remotos para los filtros de primera etapa, diseñados para capturar partículas que sean de 7 micras o más grandes. El filtro de segunda etapa es un filtro de 3 micras, con el cabezal del filtro conectado al motor. Está diseñado para capturar partículas que sean de 3 micras o más grandes. El filtro de la primera etapa tiene también una válvula de drenado de agua y sensor de agua en el combustible. Este sensor está conectado al ECM y alertará al operador con una lámpara CHECK ENGINE, si está presente agua. La bomba de levante eléctrica o bomba cebadora está montada con los filtros remotos de primera etapa. La bomba de levante eléctrica sólo opera cuando se da marcha al motor y al conectar la llave, para ayudar en el arranque y para cebar los filtros de combustible después de que ellos se han cambiado.

Un sensor de temperatura y sensor de presión del combustible están colocados en el cabezal del filtro de combustible, de modo que el ECM pueda monitorear la condición del combustible.

4.7.5 Sistema de Enfriamiento

La función primaria del sistema de enfriamiento es disipar la energía térmica no utilizada, creada por el proceso de combustión, del motor. La energía térmica excesiva que **no** es disipada por el sistema de enfriamiento es llevada lejos por los gases de escape y la radiación hacia la atmósfera.

La bomba del agua es impulsada por engranes desde la carcasa de engranes frontal.

El refrigerante fluye desde la bomba del agua hasta el centro de la V donde se localizan los enfriadores de aceite. Desde la V, el refrigerante fluye dentro de ambos bancos del block y alrededor de las camisas. Desde el block, el refrigerante fluye hacia arriba a través de las cabezas de cilindros y dentro del múltiple del agua y hacia el termostato.

4.7.6 Sistema de Postenfriamiento a Baja Temperatura

- Algunos sistemas de enfriamiento convencionales de flujo alto del motor incorporan un sistema de postenfriamiento a baja temperatura.
- El postenfriamiento a baja temperatura es un sistema de postenfriador del agua tipo núcleo y es una parte integral del sistema de enfriamiento del motor. Sin embargo, mediante el uso de un radiador y termostato separados, el postenfriamiento a baja temperatura tiene la capacidad de llevar refrigerante a los núcleos de postenfriador a una temperatura muy por debajo del intervalo de operación del sistema de enfriamiento del motor. Se usa un tubo de llenado con una válvula de una vía, para llenar el radiador del postenfriamiento a baja temperatura.
- Los motores QSK38 y QSK50, con inyectores accionados electrónicamente usan el sistema de postenfriamiento a baja temperatura, para hacer fluir el refrigerante a través de la placa de enfriamiento del ECM.

- Los motores K1500E, K1800E y K2000E incorporan un sistema de enfriamiento de doble circuito que comparte una sola bomba del agua.
- Los motores QSK38 y QSK50 con inyectores accionados electrónicamente utilizan un sistema de enfriamiento de una bomba y dos circuitos con postenfriamiento a baja temperatura. El circuito de enfriamiento a alta temperatura sirve a los requerimientos principales de enfriamiento del motor tal como el circuito de la camisa de enfriamiento y carcadas del turbocargador enfriadas por agua. El circuito a alta temperatura opera a una temperatura superior a la del circuito a baja temperatura.
- El radiador que se usa para el sistema de postenfriamiento a baja temperatura consiste de dos núcleos separados, montados dentro de un solo bastidor. El núcleo frontal es el núcleo de postenfriamiento a baja temperatura y es un núcleo de dos hileras, dos pasos. El núcleo trasero (más cercano al motor) es el núcleo principal del motor y es un núcleo de tres hileras, un paso.
- En los motores K38 y K50 durante el calentamiento inicial, cuando la temperatura del refrigerante está por debajo de 74°C [165°F], el flujo hacia los postenfriadores es agua caliente del motor directamente desde el termostato de postenfriamiento a baja temperatura. El termostato de postenfriamiento a baja temperatura comienza a abrir en 74°C [165°F], y hasta que la temperatura del agua en la cavidad en V del block alcanza los 85°C [185°F], el refrigerante que entra al postenfriador es una mezcla de refrigerante enfriado por el radiador de postenfriamiento a baja temperatura y de refrigerante caliente directamente desde el termostato de postenfriamiento a baja temperatura.
- Cuando la temperatura del refrigerante en la cavidad en V del block alcanza los 85°C [185°F], el termostato de postenfriamiento a baja temperatura está completamente abierto. Esto impide cualquier flujo de agua directamente desde la cavidad en V a los núcleos de postenfriador. Todo el flujo del

refrigerante hacia el postenfriador pasa por el radiador de postenfriamiento a baja temperatura antes de ir a los postenfriadores.

- Los motores K38, K50, QSK38 y QSK50 de Cummins requieren una capacidad nominal mínima del tapón de presión del radiador de 48 kPa [7 psi]. Esto proporciona una presión positiva del refrigerante en la entrada de la bomba del agua.
- En los motores QSK38 y QSK50, el termostato del postenfriador a baja temperatura comienza a abrir en 46°C [115°F] y está completamente abierto en 57°C [135°F].

4.7.7 Presurización de Enfriamiento Activa

- El sistema de presurización de enfriamiento activa se usó en producción entre Junio de 1996 y Enero de 1998. La presurización de enfriamiento activa aumenta la presión del refrigerante en el motor y suprime la formación de burbujas de vapor en la superficie de la camisa de cilindro, proporcionando un aumento del margen para impedir la cavitación de la camisa.
- La presurización de enfriamiento activa dirige la presión regulada del múltiple de admisión mediante el uso de una válvula check y una válvula de alivio de presión conectadas al tanque de expansión del sistema de enfriamiento, por encima del nivel del refrigerante. La válvula check impide que el refrigerante fluya hacia el múltiple de admisión. El ajuste de la válvula de alivio de presión es de más de 7 kPa [1 psi] por encima del ajuste del regulador de presión. Si se desea, se puede usar un tapón sólido del radiador y se **debe** usar cuando **no** esté disponible el ajuste requerido del tapón del radiador. Está disponible un tapón del radiador de tamaño medio especificado en 110 kPa [16 psi]. La válvula de alivio de presión, y/o tapón del radiador en el sistema de 83 kPa [12 psi], protege al radiador de la sobrepresurización.
- La recomendación anterior proporciona la especificación óptima de presión del sistema de enfriamiento para proteger a su motor de cavitación de la camisa. Sin embargo, en algunos casos, la presión especificada puede exceder las recomendaciones del fabricante para cualquiera de los dos, el radiador o el tanque de expansión. Para proporcionar la máxima protección para su motor en esos casos, ajuste el regulador de presión a 7 kPa [1 psi] por debajo de la presión máxima aceptable para sus componentes, y use un tapón ajustado al máximo valor de presión. En estos casos, use la válvula de alivio de presión que tenga el más bajo ajuste arriba del tapón del radiador.

1. Puerto de sobrepresión de admisión
2. Válvula reguladora de presión
3. Válvula de carrete
4. Válvula check
5. Válvula de Alivio de Presión
6. Tapón del radiador
7. Tanque de expansión del sistema de enfriamiento

Aplicación con Tanque de Expansión Elevado del Sistema de Enfriamiento

Las aplicaciones donde el tanque de expansión del sistema de enfriamiento está a más de 1.8 m [6 ft] por encima de la bomba del agua requieren que el regulador de presión se ajuste a una presión más baja, debido a la carga estática ya impuesta en el sistema. Se introdujeron dos válvulas de alivio de presión adicionales para satisfacer las necesidades de estas aplicaciones.

Tabla 9. Medidas sistema de enfriamiento

Altura del Tanque de Expansión		Ajuste del Regulador de Presión		Válvula de Alivio	Ajuste de la Válvula de Alivio	
Metro	[ft]	kPa	[psi]	No. de Parte	kPa	[psi]
0 a 1.8	[0 a 6]	83	[12]	3631662	110	[16]
1.8 a 5.2	[6 a 17]	69	[10]	3631664	78	[11]
5.2 a 8.8	[17 a 29]	34	[5]	3631663	41	[6]
Por encima de 8.8	Por encima de [29]	No se requiere presurización de enfriamiento activa.				

Fuente. www.quickservecummins.com, Abril de 2017

El regulador de presión se puede ajustar durante la operación a carga plena o suministrándole al regulador aire controlado a 138 kPa [20 psi].

4.7.8 Sistema de Admisión de Aire

El sistema de admisión de aire consiste de los postenfriadores, los turbocargadores, los múltiples de admisión y la tubería del aire.

Los motores K38 y K50 utilizan postenfriadores exteriores para enfriar el aire después de que es comprimido por los turbocargadores. El postenfriador se monta en el múltiple de admisión y tiene una tapa plana que retiene el núcleo del postenfriador. Cada motor tiene cuatro múltiples de admisión, cuatro núcleos de postenfriador y cuatro tapas del postenfriador. El aire es dirigido dentro del ensamble de postenfriador desde los turbocargadores vía un tubo de paso del aire. Cada motor tiene dos tubos de paso del aire, independientemente del número de turbocargadores.

Los motores QSK50 utilizan postenfriadores externos similares a los de los productos QV. Estos postenfriadores están hechos de hierro fundido y consisten del múltiple de admisión, núcleo del postenfriador, tapa del postenfriador y tubo de paso del aire. Estos componentes **no** son los mismos que se usan en los productos KV.

Los motores QSK50 utilizan turbocargadores de alta eficiencia de Holset®. Los motores K38 usan turbocargado de una etapa. Los motores K50 y QSK50 pueden tener turbocargado de una etapa o de dos.

Los motores K38 tienen un turbocargador por banco. Los motores K50 de una etapa tienen también un turbocargador por banco. Los motores K50 y QSK50 de dos etapas, tienen dos turbocargadores por banco (un total de cuatro). El aire en estos motores es comprimido primero en un turbocargador de baja presión y luego

es comprimido más en un turbocargador de alta presión, antes de que sea entregado al postenfriador.

Todos los turbocargadores del QSK50 industrial (excepto los turbocargadores de baja presión) operan con una carcasa de cojinetes del turbocargador enfriada por agua, para prolongar la vida útil de los cojinetes y sellos del turbocargador. La tubería para la carcasa de cojinetes está contenida dentro de la dotación del motor y **no** requiere instalación o ajuste por parte del cliente. Sin embargo, la tubería de refrigerante del turbocargador requiere purgarse en el llenado inicial del motor.

Los Turbocargadores del QSK50 para Generación de Potencia no son enfriados por agua.

Debe instalarse el ensamble de turbocargador correcto. Muchos turbocargadores parecen físicamente iguales pero contienen partes internas diferentes. Si se instala el ensamble de turbocargador incorrecto, el desempeño del motor será menor de la especificación, o el motor se dañará debido a presión y temperatura excesivas en los cilindros. Una de las placas de datos que está fijada al turbocargador identifica al vendedor, el modelo de turbocargador y el número de parte Cummins. Cummins Inc., identifica al turbocargador por el número de parte, no por la nomenclatura del modelo.

5. CONCLUSIONES

Las fallas de los componentes de los equipos en campo de una mina de carbón a cielo abierto, son una de las razones por las cuales los procesos de producción no cumplen las metas pactadas con la compañía y por ende con los clientes.

En el afán de ser cada vez más productivos y tener más negocios, el área de producción quiere sus equipos 100% operativos y trabajando las 24 horas del día. Cuando sus equipos fallan existen cuestionamientos acerca de cómo se están manejando los procesos de mantenimiento de los mismos y que se está haciendo para que estos cumplan con sus funciones de operación y garanticen cumplir con indicadores como disponibilidad y confiabilidad.

En el caso de cerrejón con la reparación de los motores cummins. Fue de gran importancia indagar acerca de cómo se estaban realizando estas reparaciones y que actividades se estaban realizando en campo para detectar fallas tempranas en los mismos. Encontrar fallas en los procesos de reparación, el no uso de procedimientos adecuados, el no realizar inspecciones a tiempo y no contar con asesoría periódica por parte de cummins dentro de sus procesos. Sirvieron para darles a conocer en que se estaba fallando para mejorar y así cumplir con los objetivos de tener a los motores cummins en las maquinas por mucho más tiempo de operación y sin impactar los procesos de producción.

Esta implementación estaba solamente basada para los motores QSK45, 50 Y 60. Pero por la aceptación de las recomendaciones dadas, este proceso de mejora actualmente se está implementando para los motores QSK19.

BIBLIOGRAFIA

ARZUAGA CHURIO, Jose Elias. Modelo de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) en la flota de equipos de oruga D11N de la empresa minera Drummond Ltd. Monografía de Grado Especialista en Gerencia de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial De Santander, Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Especialización en Gerencia de Mantenimiento, 2010. 108 p.

BARRERA AZOR, Daniel, Aplicación de la Metodología R.C.M. a un motor Diésel para la selección del plan de mantenimiento, Universidad de Cádiz, Trabajo de grado, 2009

DÍAZ ORDUZ, Juan, Diseño de un modelo de mantenimiento centrado en confiabilidad o RCM para el generador de soldadura impulsado a motor miller 302, UIS monografía de grado, 2010

GARCÍA CASTRO, Alfonso, Mantenimiento predictivo, Análisis de vibraciones y termografía. Apuntes de clase. 2016

GONZÁLEZ BOHÓRQUEZ, Carlos Ramón. Principios de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. 2006.

LOPÉZ MARTINEZ Fernando, Modelo de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) aplicado al sistema de apertura del cucharón de las palas eléctricas P&H modelo 2800xpc en la mina del cerrejón, UIS monografía de grado, 2012

MOORE, Ron; RATH, Ron, La Combinación del TPM y del RCM, estudio de un caso práctico

MORA GUTIERREZ, Alberto. RCM avanzado e informático. Apuntes de clase. 2016.

MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad. Mexico: Aladon, 2004.

MOUBRAY, Jhon. Reliability-Centered Maintenance RCM II. New York: Industrial Press Inc, 1997. 421p.

NASA. Reliability Centered Maintenance Guide or Facilities and Collateral Equipment, 2000. 1-50 p.

ORTIZ, Daniel. Memorias Clase de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad - RCM. ESPECIALIZACIÓN DE GERENCIA DE MANTENIMIENTO. Bucaramanga: UIS 2010

ORTIZ PLATA, Daniel. Organizaciones del Mantenimiento: Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM. [CD_ROM]. Bucaramanga, 2008. Posgrado gerencia de Mantenimiento. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica.

PERTUZ COMAS, Alberto, Principios de Mantenimiento, apuntes de clase, 2016

SILVA ARDILA, Pedro; ORREGO BARRERA, Juan. Confiabilidad en la Práctica, Colombia, 2014

CERREJON, Minería Responsable [En línea]. Recuperado en 2017-04-12. Disponible en: <http://www.cerrejon.com/site/>

CHM, Hitachi Mining Products [En línea]. Recuperado en 2017-04-01. Disponible en: www.chmineria.com.co/lineas-de-productos/hitachi,

CUMMINS, Productos [En línea]. Recuperado en 2017-03-17. Disponible en: <http://www.cumminspain.com/productos>

CUMMINS, New C3000 Series Genset Will Extend Cummins Power Generation Capability Up to 3.5-MW [En línea]. Recuperado en 2017-04-11. Disponible en: <https://power.cummins.com/sites/default/files/downloads/54.html>

CUMMINS, QuickServe Online [En línea]. Recuperado en 2017-04-20. Disponible en: <https://quickserve.cummins.com/info/index.html>

CUMMINS, Presentación [En línea]. Recuperado en 2017-04-20. Disponible en: <https://www.cummins.com.mx/introduccion>

WIKIPEDIA. Motor Diesel. [Citado en abril de 2017]. Disponible en https://es.wikipedia.org/wiki/Motor_di%C3%A9sel>