

**EVALUACIÓN TECNICO-ECONOMICA DEL SISTEMA MINECARE EN LAS
RETROEXCAVADORAS KOMATSU PC4000 DE CARBONES DEL CERREJÓN
LIMITED**

**ANDRÉS ESTEBAN OSORIO ALVAREZ
JAVIER ANTONIO GUAPACHA DIAZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DEL SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2013**

**EVALUACION TECNICO-ECONOMICA DEL SISTEMA MINECARE EN LAS
RETROEXCAVADORAS KOMATSU PC4000 DE CARBONES DEL CERREJON
LIMITED**

**ANDRES ESTEBAN OSORIO ALVAREZ
JAVIER ANTONIO GUAPACHA DIAZ**

**Monografía de Grado presentada como requisito para optar al título de
Especialista en Gerencia de Mantenimiento**

**Director
SERGIO VILLAMIZAR
Ingeniero Electricista**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DEL SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2013**

DEDICATORIA

A Dios, por Brindarme la Vida, la Salud y el Alimento.

A mi madre María del Socorro, por su permanente Aliento y Dedicación.

A mi esposa Carolina, exitoso es aquel barco que abre sus velas ante la tormenta para aprovechar su fuerza y llegar a tierra firme, lo enseñaste bien. Gracias por tu permanente apoyo.

A mis Abuelos Lázaro y Aura María, el cielo no será nunca una frontera para darles gracias por su ejemplo.

A mis familiares, a pesar de la distancia este triunfo es suyo también. Los Amo.

AGRADECIMIENTOS

A mis compañeros y amigos de Modular Mining Systems por darme el apoyo, tiempo y espacio para realizar este postgrado.

A Sahir Caldera y su Familia, por ayudarme a hacer esta travesía menos difícil.

A Sergio Villamizar por su amistad y la permanente colaboración ofrecida en la dirección de la monografía de grado.

Andrés Esteban Osorio Álvarez

DEDICATORIA

A DIOS, porque en su infinita bondad me brindado este privilegio, otra oportunidad de crecer como persona y como profesional.

A mi familia (padres, hermanos), pero especialmente a mi Madre Luz Ensueño Diaz, por su constante apoyo y por enseñarme que cada día se puede ser mejor.

A mi esposa Claudia Patricia y a mi preciosa hija Sofía, porque sin sus grandes sacrificios, especialmente el de su tiempo a mi lado, no hubiese podido tener acceso a esta oportunidad y llevar a buen puerto, ésta nueva página de mi proyecto de vida.

AGRADECIMIENTOS

A mi empresa, la familia CONCIVILES S.A., pues me brindaron su apoyo al concederme los espacios para poder cumplir con este nuevo reto en mi vida, y poder así cumplir con los compromisos adquiridos.

A Francisco José Rey P. y Carlos Mario Palacio pues su confianza y continuo estímulo fueron fundamentales a la hora de comenzar con esta nueva etapa de mi vida.

A mis compañeros y amigos, pues su apoyo siempre fue vital a la hora de cumplir laboral y académicamente.

Javier Antonio Guapacha Díaz

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	18
1. CARBONES DEL CERREJON LIMITED	23
1.1 PROCESO PRODUCTIVO	25
1.1.1 Rescate y relocalización de fauna	26
1.1.2 Desforestación y remoción del suelo	27
1.1.3 Perforación y voladura	27
1.1.4 Cargue de material estéril	28
1.1.5 Transporte y disposición de material estéril	29
1.1.6 Remoción, cargue y transporte del carbón	29
1.1.7 Trituración y apilamiento del carbón	30
1.1.8 Cargue del tren	31
1.1.9 Estación de descargue en puerto Bolívar	32
1.1.10 Apiladoras/reclamadores	32
1.1.11 Embarque del carbón	33
1.1.12 Rehabilitación de tierras	34
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	35
3. OBJETIVOS	37
3.1 GENERAL	37
3.2 ESPECÍFICOS	37
4. JUSTIFICACION	38
5. MARCO TEORICO	40
5.1 MANTENIMIENTO	40
5.1.1 Primera generación	41
5.1.2 Segunda generación	42
5.1.3 Tercera generación	43
5.1.3.1 Nuevas expectativas	43
5.1.3.2 Nuevas investigaciones	43
5.1.3.3 Nuevas técnicas	46
5.2 TIPOS DE MANTENIMIENTO	47
5.2.1 Mantenimiento correctivo	47
5.2.2 Mantenimiento preventivo	48
5.2.3 Mantenimiento predictivo	48
5.3 RCM	49
5.3.1 Siete preguntas básicas	51
5.3.1.1 Funciones	52

5.3.1.1.1	Funciones primarias	53
5.3.1.1.2	Funciones secundarias	53
5.3.1.2	Fallas funcionales	53
5.3.1.3	Modo de falla	55
5.3.1.4	Efectos de falla	56
5.3.1.5	Consecuencias	57
5.3.1.5.1	Clasificación de las consecuencias de fallas	57
5.3.1.5.2	Fallas proactivas y acciones de falla	59
5.4	ACCIONES A FALTA DE	60
5.4.1	Curva P-F	60
5.4.2	Tareas a condición	63
5.4.2.1	Categorías de técnicas a condición	63
5.4.2.2	Monitoreo de condición	65
5.4.2.3	Monitoreo de condición on line	66
6.	RETROEXCAVADORAS KOMATSU PC4000	73
6.1	DEPÓSITO DE ACEITE HIDRÁULICO	76
6.2	SISTEMA HIDRÁULICO OPERACIONAL	78
6.3	SISTEMA TRANSMISIÓN	80
6.4	SISTEMA DE LUBRICACIÓN CENTRAL	81
6.5	SISTEMA DE LUBRICACIÓN CORONA DE GIRO	85
6.6	SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE ACEITES	87
6.6.1	Enfriamiento aceite hidráulico	87
6.6.2	Enfriamiento aceite transmisión caja de engranajes	90
6.7	MOTOR	92
6.8	SUBSISTEMAS MOTOR CUMMINS	94
6.8.1	Sistema de admisión de aire	94
6.8.2	Sistemas de aceite lubricante	95
6.8.3	Sistema de enfriamiento	96
6.8.4	Subsistema de escape	96
6.8.5	Subsistema de combustible	97
6.8.6	Sistemas Eléctrico	97
7.	SISTEMA MINECARE	98
7.1	APLICACIÓN MONITOREO EN TIEMPO REAL	100
7.2	APLICACIÓN MANEJO DE EVENTOS	101
7.3	APLICACIÓN TENDENCIAS	102
7.4	APLICACIÓN SEGUIMIENTO DE TIEMPO	104
8.	INTERFASE VHMS	106
8.1	MINECARE Y RCM	109
9.	EVALUACION FINANCIERA MINECARE EN LA FLOTA PC4000	117
9.1	CLASIFICACIÓN DE BENEFICIOS SISTEMAS MONITOREO EN LÍNEA MINECARE	118

9.2	MÉTODO DE ESTIMACIÓN DE BENEFICIOS	119
9.2.1	Materiales (Repuestos y Suministros)	120
9.2.2	Mano de obra directo	121
9.2.3	Costo indirecto de mantenimiento (lucro cesantes)	121
9.2.4	Probabilidad de falla	121
10.	ANÁLISIS FINANCIERO	132
10.1	CARACTERÍSTICAS GENERALES	133
10.2	CRITERIOS O MÉTODOS PARA EVALUAR LA VISIBILIDAD ECONÓMICA DE PROYECTOS DE INVERSIÓN	135
10.3	TASA DE INTERÉS REMOTO	139
	CONCLUSIONES	142
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	145

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ubicación oficina principal Modular Mining Systems	19
Figura 2. Ubicación geográfica mina Carbones del Cerrejón	24
Figura 3. Ubicación geográfica mina Carbones del Cerrejón	24
Figura 4. Proceso productivo	25
Figura 5. Operación integrada del Cerrejón	26
Figura 6. Rescate y relocalización de fauna	26
Figura 7. Remoción de suelo	27
Figura 8. Esquema de voladora	27
Figura 9. Voladura	28
Figura 10. Cargue de material estéril	28
Figura 11. Descargue de material estéril	29
Figura 12. Cargue y transporte del carbón	29
Figura 13. Acoplo del carbón	30
Figura 14. Descargue en planta trituradora del carbón	30
Figura 15. Planta trituradora del carbón	31
Figura 16. Cargue, compactación de carbón en los vagones	31
Figura 17. Zona de descargue en Puerto Bolívar	32
Figura 18. Aplicación del carbón	33
Figura 19. Cargue de carbón en Puerto Bolívar	33
Figura 20. Preparación de áreas invertidas	34
Figura 21. Evolución de las expectativas de mantenimiento	41
Figura 22. Patrones de falla	45
Figura 23. Cambios en las técnicas de mantenimiento	46
Figura 24. La curva P-F	61
Figura 25. Intervalo P-F	62
Figura 26. Categorías de técnicas de condición	65

Figura 27. Pala Komatsu pc 4000	74
Figura 28. Tanque de aceite hidráulico	77
Figura 29. Sistema hidráulico operacional	79
Figura 30. Sistema de transmisión de potencia PC 4000	81
Figura 31. Sistema de lubricación central	84
Figura 32. Sistema de lubricación corona de giro	86
Figura 33. Sistema hidráulico PC 4000	89
Figura 34. Criterio de enfriamiento aceite transmisión	91
Figura 35. Características técnicas motor Cummins QSK60	92
Figura 36. Vista lateral derecha QSKK60	93
Figura 37. Vista superior QSK60	93
Figura 38. Vista frontal motor Cummins QSK60	94
Figura 39. Funcionamiento sistema Minecare	99
Figura 40. Pantalla monitoreo en tiempo real	101
Figura 41. Pantalla manejo de eventos	102
Figura 42. Pantalla aplicación tendencias	104
Figura 43. Pantalla de aplicación seguimiento de tiempo real	105
Figura 44. Evolución problema alta temperatura de aceite PTO	111
Figura 45. Software para cuantificación de ahorros	123
Figura 46. Grafico crow amsaa con parámetros característicos	128
Figura 47. Flujo de caja sistema Minecare PC 4000	137

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Características técnicas de las palas PC 4000	74
Tabla 2. Características productivas de las palas PC 4000	76
Tabla 3. Eventos y parámetros de monitoreo tanque aceite hidráulico PC 4000	106
Tabla 4. Evento y parámetros de monitoreo caja de transmisión (PTO)	107
Tabla 5. Evento y parámetros de monitoreo sistema lubricación central (cls)	107
Tabla 6. Evento y parámetros de monitoreo sistema de lubricación corona de giro (SLS)	107
Tabla 7. Evento y parámetros de monitoreo sistema motor	108
Tabla 8. Acumulación de registro de alta temperatura de aceite PTO en pala QO4	110
Tabla 9. Niveles prioridad y criticidad eventos sistema Minecare	112
Tabla 10. Hoja de información RCM para PC 4000-6	113
Tabla 11. Asignación de prioridades	115
Tabla 12. Formato creación de trabajo estandar	125
Tabla 13. WR creadas analista sistema Minecare	126
Tabla 14. Work request ordenadas por fecha	127
Tabla 15. Estimado de beneficios Minecare para la retroexcavadora QO1	130
Tabla 16. Registro de creación de wr año 2012 retroexcavadora QO1	131
Tabla 17. ahorro estimado mes a mes años 2011 – 2012 flota PC 4000	131
Tabla 18. Calculo VPN	139
Tabla 19. Calculo TIR	140
Tabla 20. Calculo de relación B/C	141

RESUMEN

TITULO: EVALUACION TECNICO-ECONOMICA DEL SISTEMA MINECARE EN LAS RETROEXCAVADORAS KOMATSU PC4000 DE CARBONES DEL CERREJON LIMITED*

AUTOR (ES): ANDRES ESTEBAN OSORIO ALVAREZ, JAVIER ANTONIO GUAPACHA DIAZ

PALABRAS CLAVE: MANTENIMIENTO, RCM, FALLA, MONITOREO, PRIORIDAD, CRITICIDAD, CRITERIOS.

El presente trabajo se basa en el sistema de Monitoreo Online llamado Minecare, desarrollado por la compañía Modular Mining Systems y actualmente implementado en la mina Carbones del Cerrejón Limited.

Se comienza realizando un recuento sobre el desarrollo evolutivo del mantenimiento, enfocándose en sus tipos y resaltando uno en particular que es el RCM, mencionando sus características metodológicas como las 7 preguntas del Mantenimiento Basado en Confiabilidad o por sus siglas en ingles RCM, donde se resalta la importancia del monitoreo de condición online para prevenir fallas catastróficas y por último se refiere a una de las técnicas mas avanzadas en mantenimiento que es el monitoreo en línea.

Posteriormente se presentan los equipos a estudiar en su conjunto y se relacionan los componentes de las retroexcavadoras PC4000 susceptibles de ser monitoreados por eventos o parámetros que registra el sistema. A continuación se indican cuales son las aplicaciones del sistema Minecare, su definición como interfaz y se efectúa la relación entre el análisis RCM del equipo y Minecare.

Finalmente se desarrolla un método de estimación de beneficios, que permite realizar un análisis financiero, mediante tres criterios decisorios como lo son VPN, TIR y RELACION B/C.

Se concluye que adquirir mediante Leasing, o compra inmediata el Sistema Minecare, brinda numerosos beneficios económicos, técnicos y productivos en el mediano y largo plazo, permitiendo a las compañías que lo tienen, ser mas competitivos.

* Monografía

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento, Director: Sergio Mauricio Villamizar, Msc. Ingeniero Eléctrico.lamizar

ABSTRACT

TITLE: TECHNICAL AND ECONOMIC ASSESSMENT OF MINECARE SYSTEM IN THE SHOVELS KOMATSU PC4000 OF CERREJON COAL LIMITED*

AUTHOR (S): ESTEBAN OSORIO ANDRES ALVAREZ, JAVIER ANTONIO DIAZ Guapacha

KEYWORDS: MAINTENANCE, RCM, FAILURE, MONITORING, priority, criticality, CRITERIA.

This paper is based on the monitoring system called MineCare Online, developed by the company Modular Mining Systems and currently implemented in the Cerrejon Coal Mine Limited.

You start doing a count on the evolutionary development of maintenance, focusing on their types and highlighting one in particular that is the RCM, citing methodological characteristics as the 7 questions Reliability Based Maintenance or by its initials in English RCM, which highlights the importance of online condition monitoring to prevent catastrophic failures and finally refers to one of the most advanced techniques in monitoring maintenance is online.

Later teams are studying a whole and relate the components of PC4000 backhoe susceptible to events or parameters monitored by recording the system. Which are indicated below are MineCare system applications, and its interface definition is performed as the relation between the analysis and MineCare RCM equipment.

Finally, an estimation method of profit, which allows financial analysis, was used with three decision criteria such as NPV, ROI and ratio B / C.

We conclude that acquired through leasing or outright purchase MineCare System provides multiple economic, technical and production in the medium and long term, allowing companies that own it, be more competitive.

* Monograph

** School of Mechanical Engineering. Maintenance Management Specialization. Director: Sergio Mauricio Villamizar. Msc. Electrical Engineer.

INTRODUCCION

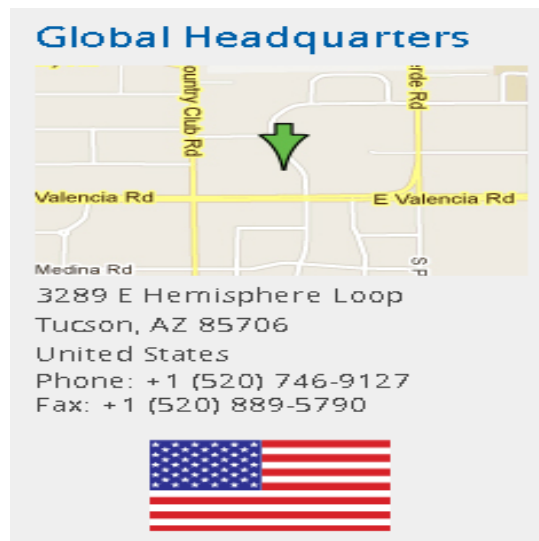
Modular Mining Systems, Inc, proporciona productos probados en terreno a los clientes de minas a cielo abierto y subterráneo de todo el mundo, que contribuyen a mejorar la productividad, seguridad, disponibilidad y utilización de los equipos.

Fundada en 1979, Modular Mining Systems, desarrollo, demostró y trajo al mercado un producto original: el sistema Dispatch. Con hardware y programas hechos a la medida, esta tecnología optimizaba la asignación de camiones a puntos de carga y descarga en una mina a cielo abierto y producía informes de operación durante el turno. Usando el sistema DISPATCH como un trampolín para futuras innovaciones, Modular continuó y desarrollo el sistema de administración de activos Intellimine

El paquete de programas de Intellimine incluye una variedad de productos diseñados para maximizar la productividad, integrando asignaciones optimizadas de flota de transporte, aplicaciones de guiado de maquinas, informes en ambiente web y redes de comunicación en tiempo real. Poderosas herramientas de informes y de administración de mantenimiento se integran completamente para proveer información crítica en relación a activos claves. El paquete de programas optimiza la productividad de todo el ciclo minero, ahorrando a nuestros clientes millones de dólares cada año y entregándoles una ventaja competitiva en productividad.

Con su oficina principal en Tucson, Arizona, USA, Modular tiene oficinas ubicadas en todos los mercados mundiales claves en minería.

Figura 1. Ubicacion Oficina Principal Modular Mining Systems



Fuente: Disponible en internet: http://mmsi.com/lang/spanish/sp_AboutUs.html

Las soluciones que brinda la compañía por medio de sus productos abarcan ítems como optimización, monitoreo, estado de los equipos, análisis y seguridad. Dichos productos son los siguientes:

- **DISPATCH:** este sistema es una solución de administración proactiva, disponible tanto para minas a cielo abierto como subterráneas, que le permite al cliente implementar sus estrategias de producción utilizando un

extenso grupo de equipos mineros. Usando un hardware de campo de última generación, el sistema entrega una productividad mejorada y una eficiencia aumentada a través de una probada optimización de flota.

- **PROVISION:** la solución de guiado de maquinas Provision, utiliza GPS incrementado para proporcionar navegación continua y guía a los operadores de equipos, aumentando la productividad y facilitando la consecución de objetivos y tareas planificadas. EL intercambio de información en tiempo real entre operaciones y planificación reduce el remanejo, las cargas mal direccionadas y la topografía manual. Las soluciones Provision, también muestran la posición de los equipos y riesgos cercanos, emiten advertencias basadas en su proximidad.
- **ROADMAP:** es el único sistema de seguimiento de posición diseñado para la minería que es portátil, asequible y escalable. Desde la identificación de comportamiento incorrecto hasta la ubicación de recursos durante emergencias, el sistema se encarga de los problemas claves de seguridad que afectan a los vehículos livianos. Los visitantes y contratistas reciben PDAs de mano que proporcionan información actualizada al minuto acerca de los riesgos, límites de velocidad, áreas restringidas y cambios en la red de caminos. Es centralizado y usa plataformas de hardware y software

estándar en la industria, para aumentar la seguridad a través de información mejorada del entorno.

- **SHIFTBOSS:** aprovechando los receptores GPS de baja precisión y la lectura de información en carga real de las interfaces, la aplicación entrega una experiencia completamente automatizada para los operadores de equipos y no requiere de nadie en la sala de control. En minas de menor tamaño, el hardware de campo puede ser completamente reemplazado por un solo despachador usando la opción de seguimiento basado en la voz.
- **SMARTRAIN:** el sistema patentado de manejo de rieles Smartrain, une cada locomotora a un centro de control para comunicación de datos y control de señales. Usando computadores a bordo, GPS y un hardware de comunicación de dos vías, almacena continuamente información relacionada con la posición, datos de signos vitales y otra información, en un sistema computarizado de control y base de datos.
- **MINECARE:** desde el 2004, este sistema ha aumentado la productividad y disponibilidad de los equipos, y al mismo tiempo ha reducido los costos de mantención, a través de un manejo del estado de los activos en tiempo real. Las oportunidades de capacitación de los operadores son identificadas correlacionando información de las interfaces que indica una operación

deficiente del equipo. El monitoreo remoto de condiciones, manejo de eventos de alarma, tendencias, tiempos de parada por componente, análisis de causa raíz y herramientas de informes históricos, proporcionan al equipo de mantención información crítica para entregar un servicio de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)

En Suramérica, Modular Mining tiene presencia en Chile, Brasil, Perú y Colombia.

En nuestro país, el sistema Minecare entro a operar en Carbones del Cerrejón Limited, la mina a cielo abierto más grande del mundo, desde principio del 2011. A continuación se presenta esta compañía.

1. CARBONES DEL CERREJÓN LIMITED

La mina El Cerrejón, es uno de los complejos de explotación minera de carbón a cielo abierto más grandes del mundo, ubicado en el departamento de La Guajira, Colombia (abarca áreas de los municipios de Albania, Barrancas y Hatonuevo); el área de explotación abarca más de 69000 hectáreas (recursos estimados en 1.961 millones de toneladas de carbón). Al año la producción de carbón térmico es aproximada a 32 millones de toneladas, producción que es transportada en ferrocarril a una distancia de 150 Km, a un puerto que el complejo posee en Puerto Bolivar (La Guajira), allí el carbón es embarcado en buques hasta de 180.000 ton.¹ Considerándose como siendo uno de los factores de impulso de la economía no solamente del departamento de La Guajira, sino del país.

Carbones del Cerrejón Limited, es una empresa perteneciente a tres de las empresas mineras mas grandes del mundo, BHP Billiton (de origen Australiano e Inglés), Anglo American (de origen Inglés y Sudafricano), Xstrata, de origen Suizo (el más grande exportador de carbón del mundo).

¹<http://www.cerrejon.com/site/nuestra-empresa.aspx>

Figura 2. Ubicación geográfica de mina Carbones del Cerrejón



Fuente: Disponible en <http://maps.google.com/>

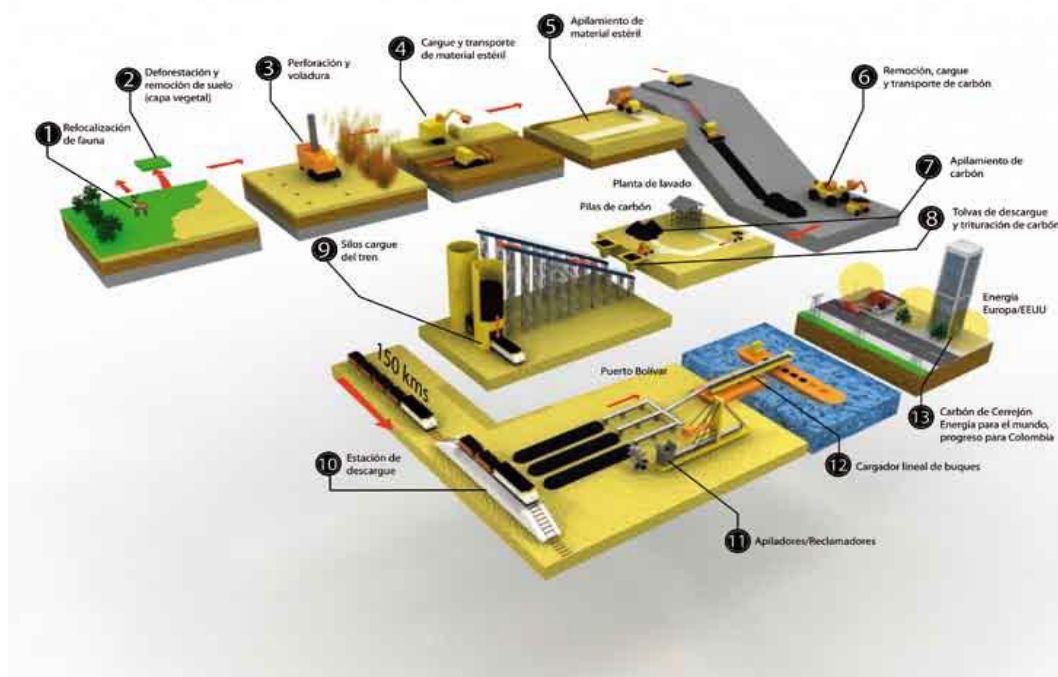
Figura 3. Ubicación geográfica de mina Carbones del Cerrejón



Fuente: Disponible en <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=248489>

1.1. PROCESO PRODUCTIVO

Figura. 4. Proceso productivo.



Fuente: Informe de sostenibilidad 2007. Cerrejón Limited.

La operación de extracción de carbón en Cerrejón se desarrolla bajo los más altos estándares de seguridad y de calidad con el compromiso de entregar al mercado internacional un producto de bajo contenido de ceniza y azufre, generando así un menor impacto sobre las personas y el medio ambiente. La fortaleza de la operación de Cerrejón es la integración de los procesos productivos (mina-ferrocarril-puerto), lo que garantiza mayor eficiencia en el conjunto de la operación y menor impacto sobre el medio ambiente.²

² <http://www.cerrejon.com/site/nuestra-empresa/operacion-integrada.aspx>

Figura 5. Operación integrada de Cerrejón



Fuente: <http://www.cerrejon.com/site/operacion-integrada/mina.aspx>)

El proceso productivo abarca los siguientes pasos:

1.1.1. Rescate y relocalización de fauna

Figura 6. Rescate de fauna



Fuente: <http://www.cerrejon.com/site/desarrollo-sostenible-%E2%80%A2-responsabilidad-social-rse/medio-ambiente/gestion-ambiental.aspx>

El proceso productivo en Cerrejón comienza con la realización de un inventario de la fauna silvestre existente en cada área a intervenir, se captura con métodos aprobados y se liberan en hábitats similares no programados para la minería.

1.1.2. Deforestación y remoción de suelo. Cuando comienzan los trabajos de minería, se extrae la madera que es aprovechable, la capa de suelo se remueve y se guarda en bancos para su uso en el proceso de rehabilitación.

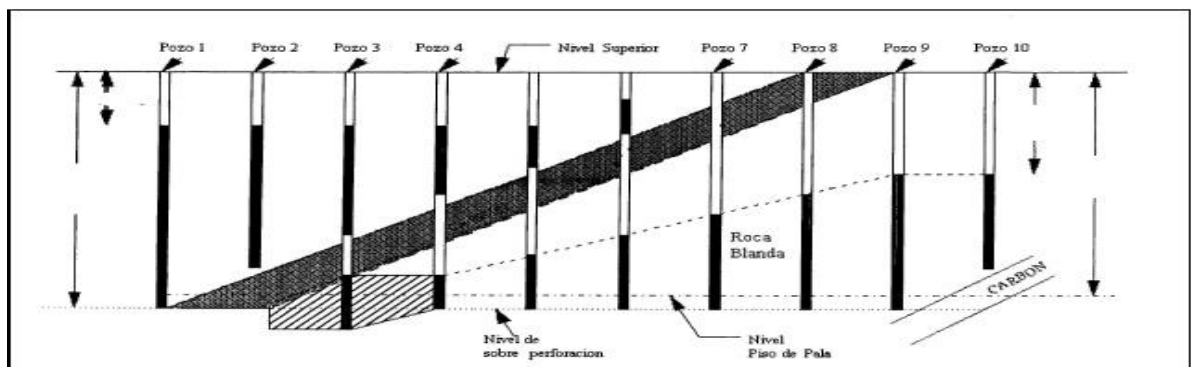
Figura 7. Remoción de suelo



Fuente: Revista Cerrejón "Hacia la rehabilitación de tierras". Cerrejón Limited.

1.1.3. Perforación y voladura. Taladros se encargan de perforar pozos, los cuales serán cargados con agentes de voladura, y serán explotados para fragmentar el material estéril.

Figura 8. Esquema de voladura



Fuente: Disponible en <http://es.scribd.com/doc/95008348/PROCESO-MINERO-CERREJON>

Figura 9. Voladura



Fuente: Disponible en <http://es.scribd.com/doc/95008348/PROCESO-MINERO-CERREJON>

1.1.4. Cargue de material estéril. Palas de tipo hidráulico y eléctrico hacen el cargue del material estéril en camiones de 240 y 320 toneladas hasta que se exponen los mantos de carbón.

Figura 10. Cargue de material estéril



Fuente: Revista Mundo Cerrejón N. 54.

1.1.5. Transporte y disposición de material estéril. Camiones de 240 y 320 toneladas hacen el cargue del material estéril hasta su disposición final.

Figura 11. Descargue de material estéril



Fuente: <http://minacerrejon.blogspot.com/>

1.1.6. Remoción, cargue y transporte de carbón. Cargadores frontales y palas hidráulicas cargan el carbón en camiones de 190 toneladas, hacia las pilas o las trituradoras.

Figura 12. Cargue y Transporte de carbón



Fuente: <http://www.colombia.com/actualidad/nacionales/sdi/45503> (Martes, 04 SEP 2012)

1.1.7. Trituración y apilamiento de carbón. Parte del carbón es transportado hasta las plantas trituradoras en donde es procesado y lavado para luego ser almacenado en los silos dispuestos para tal fin, el resto es dispuesto en las pilas cercanas al área de trituración para su posterior uso.

Figura 13. Acopio de carbón



Fuente: Informe disponibilidad 2008. Cerrejon Limited.

Figura 14. Descargue en planta trituradora de carbón



Fuente: Informe de sostenibilidad 2007

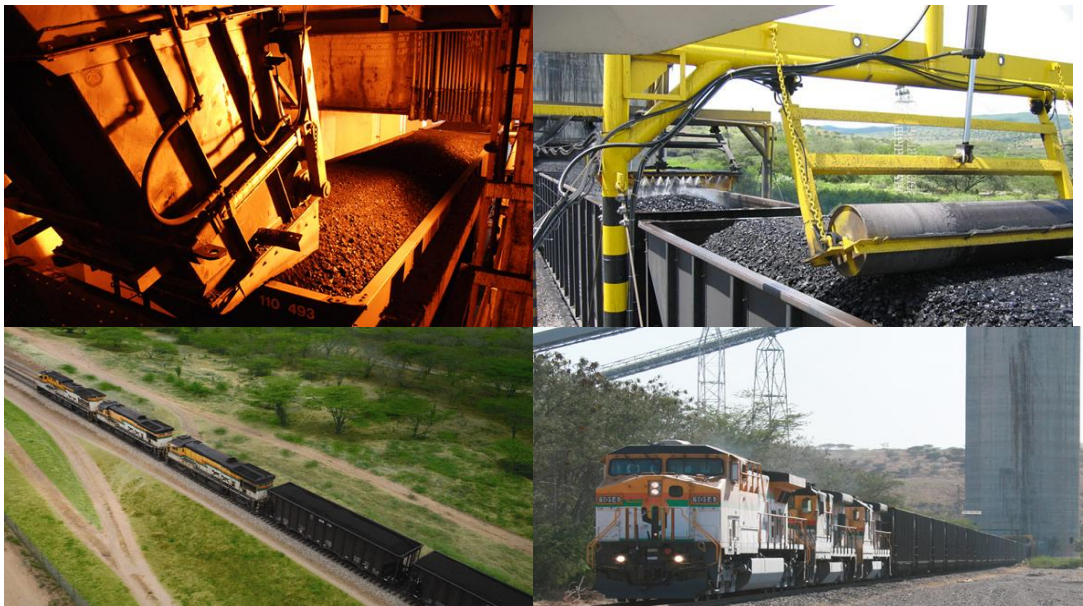
Figura 15. Planta trituradora de carbón



Fuente: Informe de sostenibilidad 2007

1.1.8. Cargue del tren. Este proceso se lleva a cabo en los bajo los dos silos dispuestos para el almacenamiento del carbón en donde, a través de un sistema de ductos telescópicos los vagones (96 o 110 ton.) del tren son cargados.

Figura 16. Cargue, Compactación, Transporte de carbón en los vagones



Fuente: <http://www.cerrejon.com/site/sala-de-prensa/galeria-multimedia/ferrocarril.aspx>

Después de cargado el tren, éste hace el recorrido hasta Puerto Bolívar (a 150 km del punto de cargue) con 12000 toneladas aproximadamente por cada viaje, de los cuales se realizan aproximadamente 9 en un día.

1.1.9. Estación de descargue en Puerto Bolívar

Figura 17. Zona de descargue en Puerto Bolívar



Fuente:<http://www.cerrejon.com/site/sala-de-prensa/galeria-multimedia/puerto.aspx>

El tren descarga a una velocidad de 1-1,5 km/h; de forma automatizada compuertas inferiores se abren, descargando el carbón sobre una banda transportadora, la cual lo envía a las zonas de acopio y/o al cargador de buques.

1.1.10. Apiladores / Reclamadores. Se usan máquinas que pueden mover un promedio de 7200 toneladas por hora en los patios de carbón, dependiendo de los

pedidos en el momento y de acuerdo con el tiempo del carbón en los patios y como medida de seguridad por sobrecalentamiento y auto combustión.

Figura 18. Apilación de carbón



Fuente: <http://www.cerrejon.com/site/sala-de-prensa/galeria-multimedia/puerto.aspx>

1.1.11. Embarque de carbón

Figura 19. Cargue de carbón en Puerto Bolívar



Fuente: <http://www.cerrejon.com/site/sala-de-prensa/galeria-multimedia/puerto.aspx>



El cargue de carbón a los buques, se hace a través de un sistema de alimentación que permite hacerlo directamente a los compartimentos de cada barco, con una velocidad aproximada de 6300 ton./h y grandes ventajas ambientales.

1.1.12. Rehabilitación de tierras. En todos los terrenos que hayan sido usados para minería y que han sido liberados, se ejecutan las operaciones de adecuación, estabilización, y revegetación hasta llevarlos a bosques maduros.

Figura 20. Preparación de áreas intervenidas



Fuente: Cerrejón, hacia la rehabilitación de tierras. 2009-2010. Cerrejón Limited.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El sistema Minecare® es una herramienta que ayuda en la gestión del mantenimiento para alcanzar el nivel clase mundial. Mediante aplicaciones en tiempo real y análisis de datos históricos, permite observar tendencias de variables de trabajo tanto del motor Diesel como de la máquina en equipos tales como Camiones Mecánicos, Camiones Eléctricos, Retroexcavadoras, Palas Frontales, Cargadores Frontales, Equipo Auxiliar sobre llanta y Oruga, y así determinar fallas incipientes para tomar acciones proactivas al respecto, evitando paradas no programadas en la operación y como consecuencia daños de alto impacto para los equipos.³

Este sistema viene siendo implementado desde el año 2011 en diferentes procesos del departamento de mantenimiento de Carbones del Cerrejón Limited. Inicialmente fue asignado al grupo de inspecciones y tecnología GI&T como otra técnica predictiva al lado del análisis de aceites, termografía, emisiones acústicas, vibraciones mecánicas, entre otras. Posteriormente se anexo al área de programación planeación y análisis de mantenimiento como un soporte en la definición de estrategias de atención prioritaria de equipos de minería ante posibles fallas críticas que se pudieran presentar.

³ Disponible en : <http://mmsi.com/product/minecare>

A lo largo de este periodo, se ha estructurado un modelo de gestión alrededor del sistema Minecare con el cual se busca obtener el mayor beneficio posible, que permita justificar técnica y económicamente su adquisición, representado tanto en ahorros económicos por atención oportuna (antes de daño catastrófico en los equipos), como ahorro de tiempo en diagnóstico (dado que no hay que detener el equipo para obtener el valor de los parámetros) y asistencia en la planeación de cambios de componentes mayores y menores (Diagnóstico de componentes de acuerdo a su edad), entre otros. Sin embargo, a pesar de que el sistema ha arrojado ahorros importantes por costos evitados de acuerdo a un modelo matemático preliminar, aun no se ha establecido un criterio definitivo por parte de nuestros clientes que permita cuantificar ahorros ajustados a la realidad y se adapte a todas las flotas.

Por esta razón, se hace necesario plantear una alternativa de modelo para cuantificar beneficios del sistema Minecare y mostrar de acuerdo a sus características, el soporte que presta en la toma de decisiones del mantenimiento RCM; aplicado a una flota de retroexcavadoras en particular, equipos que tienen alta criticidad en la operación minera dada su imposibilidad de reemplazo en caso de no estar disponible por paradas no programadas.

3. OBJETIVOS

3.1. GENERAL

Establecer un marco técnico - económico para el sistema de monitoreo remoto y en línea de variables de desempeño en equipos mineros a través de Minecare®, en la compañía Carbones del Cerrejón Limited.

3.2. ESPECÍFICOS

- Estandarizar los beneficios que se obtienen con la asistencia del sistema Minecare®.
- Aproximar un modelo matemático para estimar ahorros que se pueden obtener con la ejecución de las acciones resultantes de la información que el sistema suministra.
- Realizar un análisis financiero específico para el sistema Minecare®.

4. JUSTIFICACIÓN

Con esta monografía buscamos sentar bases sobre la implementación de este tipo de sistemas en el país, siendo pionero el departamento de mantenimiento de Carbones del Cerrejón Limited.

Se aplicarán algunos conceptos teóricos adquiridos en la Especialización , los cuales cubre temas como el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM por sus siglas en Inglés), ingeniería financiera, entre otros; como parte de una estrategia de creación de un marco tecno-económico sobre el cual se base el sistema Minecare® para interactuar con los departamentos de mantenimiento de compañías mineras que buscan alcanzar alta disponibilidad y confiabilidad de los equipos que están conectados al sistema ,a través del monitoreo on-line, notificar condiciones, actuar proactivamente y así optimizar costos.

Sin embargo, los procesos de mantenimiento además de garantizar la función de los activos, buscan el cuidado del medio ambiente y una ejecución de tareas con altos niveles de seguridad, y es aquí donde la detección temprana de fallas evita grandes afectaciones en los campos mencionados.

El sistema Minecare® como técnica de monitoreo en línea, exige un cambio paradigmático en las prácticas de mantenimiento basado en condición, al ampliar

infinitamente la frecuencia de inspección de las variables, se requiere tener una infraestructura técnica y operativa dirigida a tomar acciones en algunos casos inmediatas y en otros planeadas de atención de equipos.

El aporte de Minecare se hace importante, en la medida que suministra información valiosa para mostrar que las acciones que se están tomando en la actualidad por parte del personal de confiabilidad, planeación ejecución involucrado directamente con el sistema, coadyuva a orientar sus esfuerzos hacia la ejecución de un mantenimiento basado en acciones proactivas, para la prevención de fallas que trae consigo beneficios económicos que van alineados con las metas corporativas.

El alcance de esta monografía es el manejo de la información de monitoreo en tiempo real, tendencias y algunas características de los equipos de cargue de estéril denominados retroexcavadoras marca Komatsu, referencia PC4000.

5. MARCO TEÓRICO

5.1. MANTENIMIENTO

El mantenimiento a través de sus diferentes metodologías, técnicas, políticas ha cambiado de manera significativa en los últimos años, basándose en el aumento de la variedad y cantidad de activos fijos que deben mantenerse en todo el mundo, además del aumento de la complejidad de la maquinaria y los nuevos enfoques del mismo.

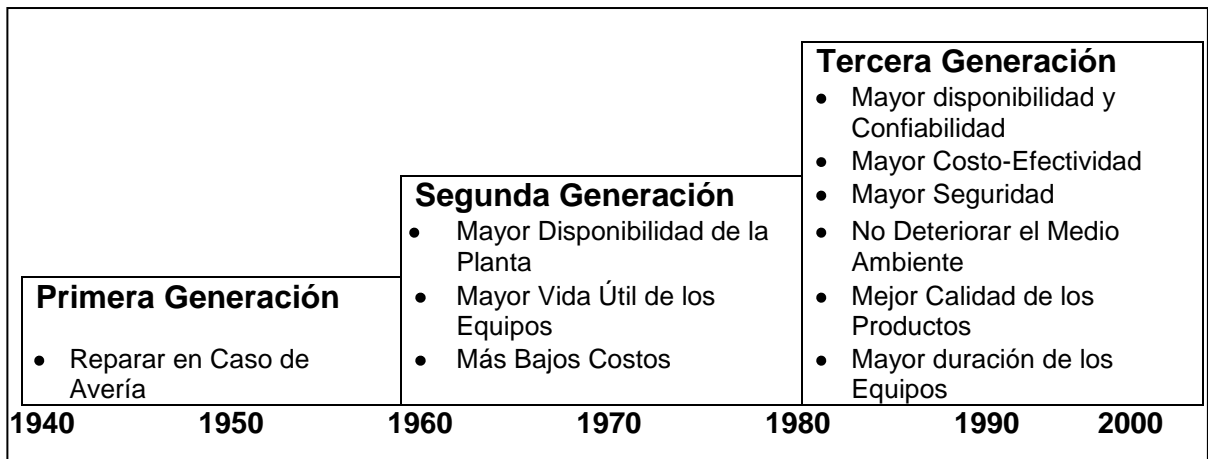
Ante las nuevas expectativas, mantenimiento le está dando mayor relevancia a aspectos como la seguridad y el medio ambiente, el firme reconocimiento de la existencia de la conexión entre el mantenimiento y los procesos de calidad, además del aumento cada día más de las exigencias de una alta disponibilidad de la maquinaria ⁴ y mantener los costos controlados.

Los cambios, están exigiendo que el personal de mantenimiento adopte nuevas maneras de pensar, al mismo tiempo se reflejan las limitantes de los sistemas de mantenimiento, queriéndose evitar arranques fallidos. Teniendo en cuenta los grandes cambios se busca una estrategia que reúna los diferentes modelos en uno sólo, que permita su evaluación y aplicación que satisfaga las necesidades de la compañía.

⁴ WWW.cmcmm.com.mx. 1er Congreso Mexicano de Confiabilidad y mantenimiento

Desde la década de los años 30, se tiene registros de la historia y evolución del mantenimiento:

Figura 21. Evolución de las expectativas del mantenimiento



Fuente: RCM II, Mubray, John

5.1.1. Primera generación. Abarca el período hasta la segunda guerra mundial, período en el cual la industrialización no estaba muy avanzada, por lo cual las paradas no eran de gran importancia. Maquinaria muy básica y generalmente de una aplicación definida y con sobredimensiones, lo que las hacía confiables y de fácil reparación, en donde la prevención de fallas no se tenía como prioridad.

Como resultado de lo anterior, la necesidad de rutinas simples de limpieza, servicios y lubricación, dominaban el mercado, haciendo innecesarios los sistemas de mantenimiento.

5.1.2. Segunda generación. Posterior a la segunda guerra mundial, los cambios del entorno, hicieron que la demanda de todos los tipos de bienes, pero la mano de obra industrial decayó de forma considerable.⁵ El aumento de la mecanización y la construcción de gran cantidad de equipos y cada vez de más complejidad, la industria ya empezaba a generar dependencia de las máquinas.

Al depender de las máquinas, las paradas y los tiempos perdidos fueron más evidentes, surgió la idea de que las fallas podían y debían ser prevenidas, dando como resultado, la idea del mantenimiento programado, que en la décadas de los sesenta consistió en la revisión completa del material a intervalos fijos (reparaciones mayores a intervalos fijos)⁶.

Los costos del mantenimiento comenzaron a elevarse en relación a los costos de la operación; como resultado se empezó a usar sistemas de control y a planear, poniendo bajo control el mantenimiento.

5.1.3. Tercera generación. Desde los mediados de los años 70's, las industrias han tenido grandes cambios, el crecimiento de la mecanización y automatización han vuelto factores importantes los indicadores como la confiabilidad y disponibilidad. La automatización significa que cada vez más fallas afectan la

⁵ WWW.cmcm.com.mx. 1er Congreso Mexicano de Confiabilidad y mantenimiento

⁶ Ibid

capacidad de satisfacer altos parámetros de calidad. Fallas que afectan seriamente el medio ambiente o la seguridad, al tiempo que las exigencias sobre estos temas, se incrementan.

5.1.3.1. Nuevas expectativas. Los tiempos improductivos tienen gran efecto sobre la producción, costos totales y el servicio al cliente. Se presenta un movimiento hacia los sistemas de producción “justo a tiempo”, en donde los pequeños inventarios pueden generar la par de una planta.⁷

Los costos de tenerlos y operarlos, crecen; en donde los activos deben funcionar eficientemente cada vez que se les necesite. El costo del mantenimiento crece, llegando a situarse en algunas empresas como el más alto costo operativo.

5.1.3.2. Nuevas investigaciones- Más allá de las expectativas del mantenimiento, se evidencia que hay una menor relación entre el tiempo que tiene un equipo en funcionamiento y sus posibles fallas.

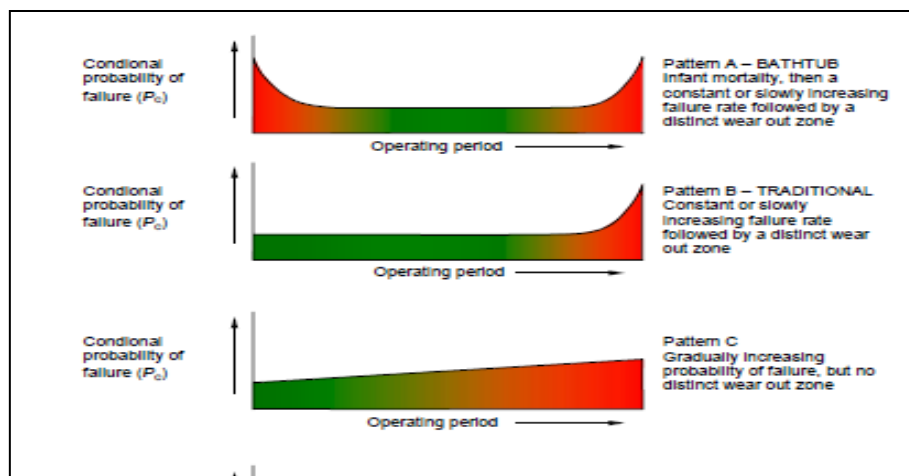
En un principio, la idea que se tenía, era que a medida que los activos envejecían, eran más propensos a fallar, lo que para la segunda generación varía pues, se genera una creciente conciencia de la “mortalidad infantil”, creyéndose en la “curva de la bañera”. Lo que para la tercera generación revela no uno sino seis patrones de falla que ocurren en la realidad.

⁷ ibid

De acuerdo con la siguiente figura, para la tercera generación, la curva inicial (A) se conoce como la “curva de la bañera”, muestra una incidencia de falla alta (conocida como mortalidad infantil), seguida por la frecuencia de falla que aumenta gradualmente o que es constante, y luego por una zona de desgaste.

Los siguientes modelos en su orden, muestran probabilidad de falla constante o ligeramente ascendente y terminación en zona de desgaste (B); probabilidad de falla ligeramente ascendente, pero sin edad de desgaste definida (C); probabilidad de falla bajo cuando el componente es nuevo, luego un aumento rápido a un nivel constante (D); probabilidad de falla aleatoria (E); mostrando en el modelo inferior, una mortalidad infantil muy alta (F).

Figura 22. Patrones de falla



Fuente: ORTIZ, Daniel. Memorias Clase de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad – RCM. Capítulo de Historia. Especialización de Gerencia en mantenimiento. UIS. Bucaramanga 2012

Los estudios de la aviación civil, mostraron que la modalidad de falla A se presenta en el 4% de las ocasiones, B: 2%, C: 5%,D: 7%,E: 14% (respectivamente) y la modalidad tipo F el 68%.

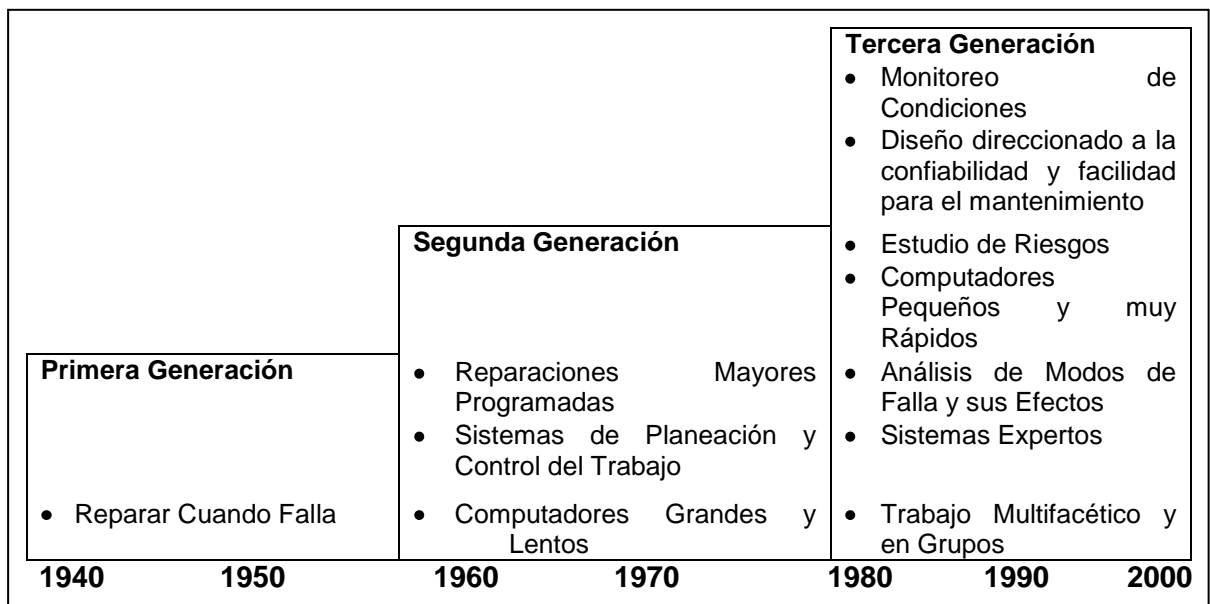
Por lo cual los modelos de falla dependen del elemento, dada su complejidad. No todas las fallas son iguales.

5.1.3.3. Nuevas técnicas: Los nuevos conceptos y las técnicas de mantenimiento han crecido de manera impresionante, incluyen:

- a. Herramientas de soporte para la toma de decisiones (estudio de riesgos, análisis de falla, sus efectos y sistemas.

- b. Nuevos métodos de mantenimiento, tal como el monitoreo de condición,
- c. Diseño de equipos, enfatizados en temas de confiabilidad y facilidad para el mantenimiento.
- d. Cambio radical de modo de pensar de la organización hacia la participación, trabajo grupal y flexibilidad.⁸

Figura 23. Cambios en las técnicas de mantenimiento



Fuente: RCM II, Moubray, John

El compromiso importante del personal de mantenimiento en este punto es aprender las técnicas y sobretodo decidir cuales valen la pena para la empresa. Los desafíos a los cuales se enfrenta el personal de mantenimiento, podrían resumirse en: Seleccionar la técnica más adecuada, para manejar los procesos de falla, satisfaciendo las exigencias de los usuarios, de forma eficaz y efectiva.

⁸ MOUBRAY. Jhon. Reliability-Centered Maintenance RCM II. Lillintong, North Carolina: Aladon LLC. 2004

Mantener, se definen en algunos textos, como la causa para continuar o conservar un estado existente, poniéndose explícitamente que se debe preservar “algo”; qué es lo que se desea causar que continúe?, cuál es el estado que se desea preservar?.

La respuesta a dichos interrogantes, puede encontrarse en que todo elemento físico se pone en funcionamiento con el fin de cumplir una función específica, por lo tanto, cuando se mantiene un equipo se busca que éste conserve el estado en el cual se desea que conserve para que cumpla con la función determinada.

5.2. TIPOS DE MANTENIMIENTO

5.2.1. Mantenimiento correctivo. Es aquel que devuelve el equipo a sus condiciones estándares de operación después de la ocurrencia de una falla.

Características:

- Es de carácter urgente
- Requiere solución inmediata
- Paradas inesperadas
- Elevados requerimientos de personal
- Costoso para la producción

- Daños cuantiosos al parque industrial
- Meta típica: eliminación total
- Meta actual: solamente el aceptable

5.2.2. Mantenimiento preventivo. Es el que se hace para prevenir fallas en el equipo. Inspeccionando y cambiando componentes por horas.

Características:

- Inspecciones periódicas
- Usa estadísticas
- Verifica ajustes
- Planea y programa para cambio de componentes y partes.
- Menores requerimientos de personal
- Mayor vida útil de equipos
- Menores paradas imprevistas, Mejora la seguridad.

5.2.3. Mantenimiento predictivo. Hace seguimiento a variables físicas (vibraciones, temperaturas, humedad,.....) para determinar cuando ha comenzado una falla en un equipo, componente o parte y programar su reparación o cambio.

Características:

- Utiliza equipos sofisticados
- Es útil en fallas progresivas
- Optimiza los ciclos de mantenimiento preventivo

- Reduce labores de mantenimiento.

El RCM (mantenimiento centrado en confiabilidad), provee a los usuarios lo necesario para responder ante los desafíos que las nuevas exigencias plantean. RCM, inicia con requerimientos de mantenimiento de cada uno de los activos desde el punto de vista operacional, reconociendo que el mantenimiento no puede hacer más que, los elementos físicos continúen con su capacidad incorporada, confiabilidad de diseño.

5.3. RCM

Mantenimiento centrado en la confiabilidad ó RCM (“Reliability Centered Maintenance”), Encuentra sus raíces al comienzo de los años sesenta⁹, inicialmente es desarrollado por la industria de la aviación civil norteamericana, ya que sus empresas habían encontrado que sus estrategias de mantenimiento eran costosas y de alto riesgo¹⁰. En 1968 la ATA (Air Transport Association), promulga el primer intento de “implantación de un proceso racional de base cero, para formulación de estrategias de mantenimiento, conocido como el MSG1 (“Maintenance steering group 1”). El cual se sufre cambios para los años 70’s, en donde se genera un segundo informe, el cual se conoce como MSG2.

⁹ Mora Gutierrez, Luis Alberto. Mantenimiento industrial efectivo, Editorial Coldi 2012, p307.

¹⁰ ORTIZ, Daniel. Memorias Clase de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad – RCM. Capítulo de Historia. Especialización de gerencia de mantenimiento. UIS. Bucaramanga 2012

El departamento de defensa de los estados unidos, incorpora los conceptos y métodos del RCM y, por comisión, F. Stanley Nowlan y Howard Heap, publican en 1978 por primera vez un documento al cual llamaron “ Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad” (“Reliability Centered Maintenance”), cuando se buscaba la optimización de los factores humanos y productivos alrededor del mantenimiento.

El MSG2, se convierte en la base para el desarrollo del MSG3 (documento de planificación del programa de mantenimiento de aerolíneas/fabricantes), dado a conocer en 1980. Después de varias revisiones esta metodología se sigue usando para los planes de mantenimiento para nuevas aeronaves, previa su entrada en servicio.

Esta es una metodología que profundiza en la máquina para determinar cómo podemos prevenir fallas no programadas y minimizar el impacto por la ocurrencia de estas en las personas y el medio ambiente; de tal manera que puede considerarse como el proceso usado para asegurar que cualquier recurso físico continúe realizando lo que sus usuarios desean que realice en su producción normal (Moubray@,2001).

El RCM, puede considerarse como una metodología de análisis racional, estructurado y sistemático que define las tareas requeridas por mantenimiento para eliminar los riesgos asociados a los modos de falla presentes en los equipos o recursos físicos y sus consecuencias. Por lo cual el RCM, permite determinar las

tareas óptimas (en una relación costo-beneficio), que aseguren que el recurso físico continúe cumpliendo con su función.

Consta de dos etapas, una de análisis y otra de decisiones basadas en este análisis, finalizando el ejercicio con alguna de las siguientes conclusiones: Se programa la renovación total o parcial de alguna parte del componente, se permite llegar hasta que el componente falle o se rediseña el sistema.

Inicialmente se expone la función de cada uno de sus componentes identificando las características de trabajo para las cuales fue diseñada, a continuación se determinan los modos en que este puede fallar, las posibles causas, las consecuencias y finalmente las tareas de mantenimiento que se necesitan realizar.

5.3.1. Siete preguntas básicas. El RCM, se enfatiza en la relación existente entre la empresa y sus recursos físicos, para lo cual es necesario saber cuáles y cuántos son y decidir a cuales se les aplicará el proceso de revisión del RCM. Seguidamente, el sistema se hará una serie de cuestionamientos para cada uno de los elementos:

- Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento dentro del ambiente de operación actual. (Funciones)
- En qué forma deja de cumplir con sus funciones? (Falla funcional)
- Qué causa cada falla funcional? (Modos de falla)

- Qué pasa cuando cada falla ocurre? (Efectos de falla)
- Cuál es el impacto generado por la falla? (Consecuencias de la falla)
- Qué puede hacerse para prevenir cada falla? (Tareas Proactivas e intervalos).
- Qué hacer si no se puede prevenir la falla? (acciones a falta de)¹¹

5.3.1.1. Funciones: Antes de definir el proceso a seguir para que el recurso físico continúe cumpliendo con lo que el usuario requiere en su ámbito operacional, se requiere:

1. Definir, qué requiere el usuario, que el bien haga
2. Asegurarse que el bien puede hacer, lo que el usuario requiere.¹²

Como resultado de este proceso RCM, comienza por definir las funciones y estándares de comportamiento en el contexto de su operación, estándares que se extienden a la producción, calidad del producto, servicio al cliente, medio ambiente y seguridad, costos de operación.

5.3.1.1.1. Funciones primarias: Son la razón de la adquisición del equipo, generalmente se asocian a su nombre, expresado en términos de: producción, capacidad de transporte, capacidad de almacenaje, velocidad, calidad del producto, servicio al cliente.

¹¹ MOUBRAY. Jhon. Reliability-Centered Maintenance RCM II. Lillintong, North Carolina: Aladon LLC. 2004

¹² MOUBRAY. Jhon. Reliability-Centered Maintenance RCM II. Lillintong, North Carolina: Aladon LLC. 2004

5.3.1.1.2. Funciones secundarias: Son las que se espera que el activo haga más allá de sus funciones primarias, pero su falla puede al igual tener consecuencias graves, ayudan a cumplir la función principal. Ejemplo de estas son: Aislamiento o contención, Protección, Integridad Ambiental, Higiene, Seguridad y/o integridad estructural, control, información, monitoreo de condición, calibración, economía y eficiencia, funciones superfluas.

Debe tenerse precaución al identificar las funciones de protección, pues estas trabajan, llamando la atención de los operadores ante condiciones anormales, deteniendo el equipo ante una eventual falla, eliminando o aliviando condiciones anormales, tomar control de la función que ha fallado, previniendo desde el inicio la ocurrencia de situaciones peligrosas.

5.3.1.2. Fallas Funcionales. Falla, se puede definir como, la incapacidad que tiene un activo para hacer lo que el usuario quiere que haga (en la mayoría de los casos, son varias), por lo cual se requiere definirla en términos de pérdida de función específica.

Por lo cual **falla funcional**, se define como la inhabilidad de un activo para cumplir un estándar de funcionamiento deseado por el usuario, ocurre cuando el activo no es capaz de cumplir con su función.

Estas se pueden definir después de haber definido las funciones y parámetros de funcionamiento del activo.

- TIPOS DE FALLA FUNCIONAL

- ✓ Pérdida total de la función
- ✓ Pérdida parcial de la función.
- ✓ Funcionamiento erróneo.¹³

- CLASIFICACIÓN DE FALLAS

- ✓ Total
- ✓ Parcial
- ✓ Permanente
- ✓ Intermitente
- ✓ Precoz
- ✓ Aleatoria
- ✓ Cronodependiente
- ✓ Abrupta
- ✓ Evolutiva
- ✓ Catastrófica
- ✓ De degradación
- ✓ Desgaste

¹³ ORTIZ, Daniel. Memorias Clase de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad – RCM. Especialización de Gerencia en mantenimiento. UIS. Bucaramanga 2012

- ✓ Uso Inadecuado
- ✓ Debilidad Inherente

Los estándares de desempeño usados para definir la falla, deben ser establecidos conjuntamente entre el personal de mantenimiento y de producción, teniendo en cuenta también a todos los que deban opinar acerca de cómo el activo debe comportarse.

5.3.1.3. Modos de falla. Una vez se ha identificado la falla funcional, se requiere identificar las razones por las cuales se ha causado cada estado de falla, lo cual se denomina Modo de Falla.

Podría definirse como cualquier evento que pueda causar la falla de un activo físico, siendo más precisa la definición cuando se distingue entre falla funcional (estado de falla) y un “modo de falla” (evento que puede causar un estado de falla), de lo cual podemos concluir que un modo de falla, es **cualquier evento que causa una falla funcional.**

Los modos de falla deben incluir aquellos que han ocurrido en equipos similares en condicione similares de operación, además incluyen las que están siendo prevenidas por los programas actuales de mantenimiento. Se deben tener en cuenta las fallas causadas por el deterioro o desgaste, las producidas por los errores humanos y por errores de diseño.

5.3.1.4. Efectos de falla. Describe que pasa cuando ocurre cada modo de falla, dando respuesta a la pregunta, ¿qué ocurre?, permitiendo decidir la importancia de cada falla, y a su vez se puede determinar el nivel de mantenimiento es requerido.

La descripción de estos efectos debe incluir la información necesaria, al describir los efectos de la falla debe hacerse constar:

- . La evidencia (si existe) de que se ha producido la falla.
- . En que forma la falla supone una amenaza para la seguridad o el medio ambiente.
- . Las maneras en que se afecta la producción o las operaciones.
- . Los daños físicos causados por la falla.
- . Que hacer para reparar la falla.¹⁴

5.3.1.5. Consecuencias. Responde a la pregunta ¿qué importancia tiene?.

Cada vez que ocurre una falla se afecta la empresa de alguna forma, siendo siempre los impactos diferentes. La afectación puede ser a la calidad de los productos, el servicio al cliente, la seguridad, el medio ambiente y la corrección de la falla tiene costo y pérdida de tiempo.

¹⁴ MOUBRAY. Jhon. Reliability-Centered Maintenance RCM II. Lillintong, North Carolina: Aladon LLC. 2004

La manera en que la falla es vista por la empresa, su importancia, dependen del entorno operacional del bien, los parámetros de funcionamiento de cada función, y los efectos físicos de cada modo de falla, lo que significa que cada falla tiene varias consecuencias específicas asociadas. Puede decirse entonces que, las consecuencias, son los impactos que produce cada modo de falla en el negocio.

Para definir una clasificación de las consecuencias debe definirse previamente las funciones como evidentes (aquella en la cual, la falla será, por si misma evidente al operador bajo circunstancias normales) y ocultas (la que no se hace evidente al operador, si ocurre por si misma).

5.3.1.5.1. Clasificación de las consecuencias de las fallas

a. Consecuencias de fallas ocultas

Fallas ocultas son aquellas que no tienen impacto directo, pero exponen al equipo a una falla múltiple, con graves consecuencias siendo a menudo catastróficas¹⁵, pues no son detectables por los operadores en condiciones normales de operación, si se producen por sí mismas.

b. Consecuencias para el medio ambiente y la seguridad

¹⁵ MOUBRAY. Jhon. Reliability-Centered Maintenance RCM II. Lillintong, North Carolina: Aladon LLC. 2004

La falla afecta la seguridad si alguien sufre una herida o muere y tiene consecuencias ambientales si se viola alguna norma local, regional, nacional, mundial sobre el medio ambiente.

c. Consecuencias operacionales

Se presenta cuando se afecta la producción (capacidad, calidad del producto, servicio al cliente o los costos)¹⁶.

El efecto económico global de cualquier modo de falla, depende de dos factores: cuánto cuesta la falla cada vez que ocurre (en la capacidad operacional mas el costo de reparar), y con qué frecuencia ocurre.

d. Consecuencias No Operacionales

Se consideran las fallas evidentes que no afectan la seguridad ni la producción y el costo directo es únicamente el de su reparación.

El proceso bajo el cual se evalúan las consecuencias, cambia la idea acerca de que toda falla es negativa y debe ser prevenida; de esta manera se centra la atención sobre las actividades de mantenimiento que tienen el mayor desempeño de la empresa¹⁷, lo que nos lleva a centrar nuestra atención en “prevenir más que en curar”.

¹⁶ Ibid

¹⁷ Ibid

5.3.1.5.2. Fallas proactivas y acciones de falla. El mantenimiento proactivo tiende a evitar, reducir o eliminar las consecuencias mucho más que a prevenir la falla misma.

Tareas Proactivas: Tareas que se realizan para evitar que el equipo falle o minimizar las consecuencias de la falla:

- a. Mantenimiento Predictivo: Monitoreo de condición: Vibraciones, termografía,...; Monitoreo de Efectos primarios (Flujo, temp., presión,..); Monitoreo de la variación de la calidad del producto (algunos defectos en el producto están relacionados con algunos defectos en la máquina y éstos comienzan gradualmente lo que hace que se detecte la falla potencial); los Sentidos Humanos (Mirar, oír, tocar y oler) +
- b. Mantenimiento Preventivo: Cambio de componentes a intervalos fijos; Overhaul a intervalos fijos)).

Las tareas comienzan antes que ocurra la falla, con el objetivo de que el componente o bien, no lleguen a dicho estado; aunque RCM usa los términos reacondicionamiento cíclico, sustitución cíclica y mantenimiento a condición¹⁸.

5.4. ACCIONES A FALTA DE

¹⁸ MOUBRAY. Jhon. Reliability-Centered Maintenance RCM II. Lillintong, North Carolina: Aladon LLC. 2004

Se relacionan con el estado de falla, y son elegidas cuando no se puede identificar una tarea proactiva efectiva. Incluyen búsqueda de falla, rediseñar y mantenimiento a rotura (correctivo).

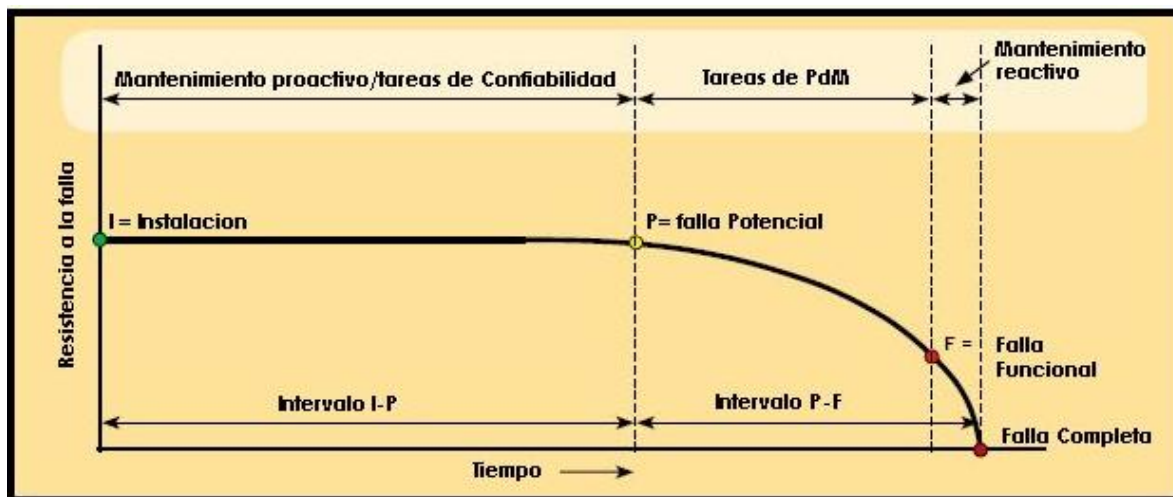
Incluyen:

1. Mantenimiento detectivo o búsqueda de falla, implica la revisión periódica de las funciones para determinar si han fallado.
2. Mantenimiento No programado, no se hace esfuerzo para anticipar o prevenir los modos de falla a los que se aplica. Se permite que la falla ocurra y simplemente se repara. Se le conoce también como mantenimiento correctivo o “a rotura”.
3. Rediseño (deseable), implica modificaciones al equipo y cubre los “cambios de una sola vez” a los procedimientos.

La evolución del mantenimiento tradicional en el cual se definían las frecuencias de las tareas predictivas en función de la frecuencia de falla y la criticidad del equipo, pasó en el RCM a que, la frecuencia de las tareas predictivas se basa en los períodos de evolución de la falla.

5.4.1. Curva P-F. Se llama la curva P–F (Potencial Failure- Functional Failure), porque muestra cómo comienza la falla, cómo avanza al punto en que puede ser detectada, falla potencial (punto "P"), y si no es detectada y corregida, continúa su deterioro hasta el punto de falla funcional ("F").

Figura 24. La Curva P-F



Fuente: Moubray, John. RCM II, 2004

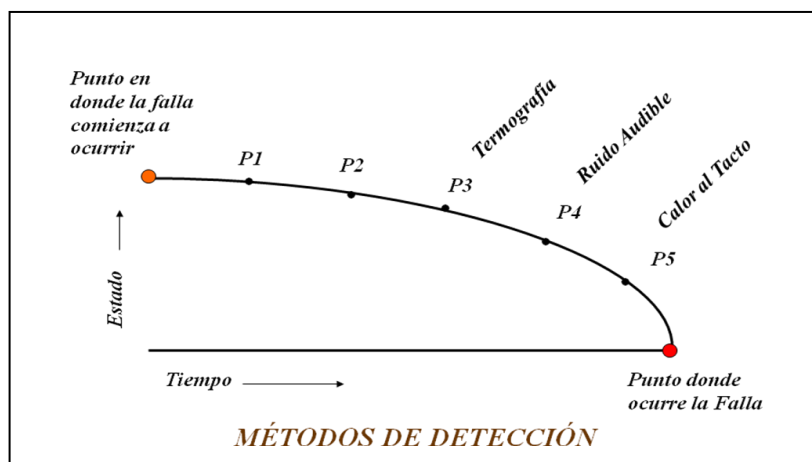
El punto en el proceso de la falla, en el que es posible detectar si la falla está ocurriendo o si está a punto de ocurrir se conoce como falla potencial (falla potencial detectable, que muestra que una falla funcional está a punto de ocurrir o en el proceso de ocurrir (vibraciones fuera de rango, grietas por fatiga, partículas metálicas en el aceite, desgaste de los neumáticos,..)).

Si la falla potencial puede detectarse, es posible actuar para prevenir o evitar las consecuencias de la falla funcional, entre el punto P y el punto F (lo que depende de la rapidez con la que ocurra la falla). Las tareas que se realizan para detectar fallas potenciales se conocen como tareas a condición.

Es en este momento donde las técnicas predictivas entran en juego, análisis de aceites, termografía, vibraciones mecánicas, entre otros, permiten conocer la

condición del parámetro bajo observación sin necesidad de invadirlo o intervenir directamente, es por esto que se denominan técnicas no invasivas, y de allí una de sus fortalezas, además, para el caso del monitoreo en línea, el hecho de tener un sistema que permita realizar monitoreo segundo a segundo en cualquier momento del día de diversos parámetros de interés, desde una oficina y no físicamente en la maquina, da una ventaja tecnológica importante que se traduce en ventaja competitiva porque permite tomar acciones no solo preventivas si no proactivas ante las fallas, reduciendo los tiempos muertos inesperados y aumentando la productividad de la compañía.

Figura 25. Intervalo P-F



Fuente: ORTIZ, Daniel. Memorias Clase de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad – RCM. Introducción al RCM. Especialización de Gerencia en mantenimiento. UIS. Bucaramanga 2012

5.4.2. Tareas A Condición. Las nuevas técnicas de manejo de fallas, permiten detectar fallas potenciales para que se actúe en prevenir o evitar las consecuencias de la falla funcional; los elementos se dejan funcionando a

condición de que continúen satisfaciendo los estándares de funcionamiento deseado. El mantenimiento a condición incluye el mantenimiento predictivo, mantenimiento basado en condición y monitoreo de condición.

Las tareas a condición son técnicamente factibles cuando, es posible definir una condición de falla potencial (condición identificable que indica una falla funcional está a punto de ocurrir o está en proceso de ocurrencia). Consisten en chequear si hay fallas potenciales, que permitan actuar para prevenir la falla funcional o evitar las consecuencias de la falla funcional.

El **mantenimiento predictivo**, aparece porque, tratamos de predecir si se producirá y cuando se producirá la falla de un elemento (basándonos en su ambiente actual) o mantenimiento basado en la condición (las acciones, se basan en la evaluación de la condición del elemento).

5.4.2.1. Categorías de técnicas a condición. Las cuatro categorías principales de técnicas a condición son las siguientes:

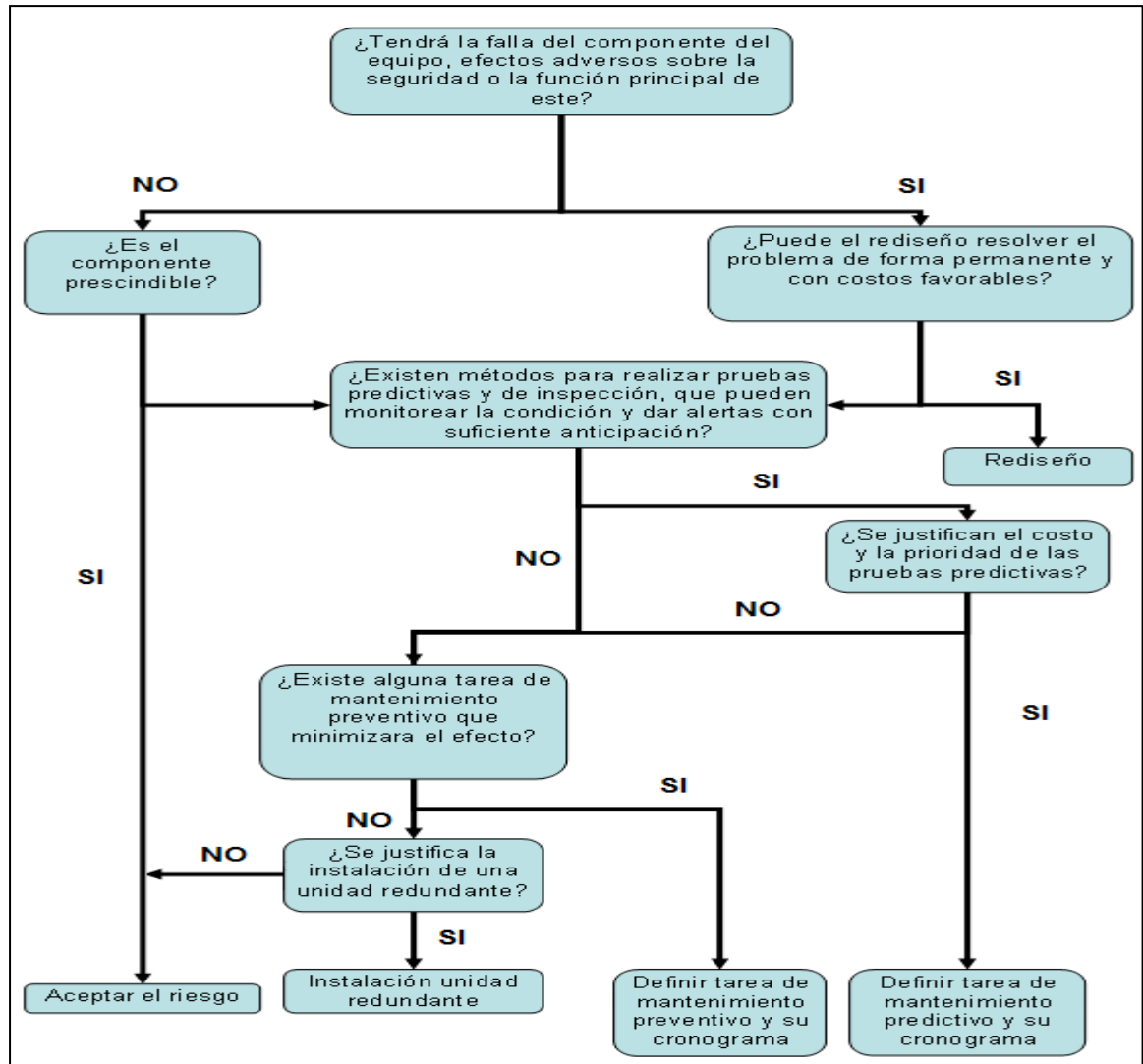
- Técnicas de monitoreo de condición, (condition monitoring) que implica el uso de algún equipo especializado para monitorear el estado de otros equipos.
- Técnicas basadas en variaciones en la calidad del producto.
- Técnicas de monitoreo de los efectos primarios, que implican el uso inteligente de indicadores existentes y equipos de monitoreo de procesos

- Técnicas de inspección basadas en los sentidos humanos.

En cumplimiento de las actividades de la metodología de mantenimiento RCM, llegamos al momento de seleccionar las tareas de mantenimiento a realizar con los datos obtenidos en el proceso, debemos seleccionar de entre las siguientes opciones, la más acertada para el proceso: Monitoreo en línea, Análisis de condición, Recuperar condición, cambio de partes, búsqueda de fallas, Operar hasta que falle, Cambio de diseño. Para lo cual aplicamos la técnica del Árbol, o diagrama de decisión (Herramienta que permite seleccionar de forma óptima las actividades de mantenimiento según la filosofía del RCM).¹⁹

¹⁹ ORTIZ, Daniel. Memorias Clase de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad – RCM. Capítulo de Historia. Especialización de Gerencia en mantenimiento. UIS. Bucaramanga 2012

Figura 26. Categorías de técnicas a condición



Fuente: <http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/4077>

5.4.2.2. Monitoreo De Condición: Las técnicas de mantenimiento a condición suelen involucrar el uso de algún tipo de equipo para detectar fallas potenciales, en otras palabras, se emplean equipos para monitorear el estado de los equipos.

Estas técnicas se conocen como monitoreo de condición (condition Monitoring). Los efectos primarios (velocidad, caudal, presión, temperatura, potencia, corriente, etc.) son una fuente más de información acerca de la condición de los equipos.

Los efectos pueden ser monitoreados por una persona leyendo un instrumento y quizás registrando la lectura manualmente, pero los grandes avances actuales, han permitido que a través de sensores gran cantidad de datos puedan ser analizados con una computadora como parte de un sistema de control de procesos; la tendencia mundial en este tipo de mantenimiento es el monitoreo en línea, la aplicación Minecare permite realizar monitoreo en línea de “signos vitales” en equipos mineros.

5.4.2.3. Monitoreo De Condición Online: Son muchos los campos donde se aplican las técnicas de monitoreo en línea, cabe mencionar algunos ejemplos en el campo de la química para el monitoreo del proceso de biolixiviación en mineras²⁰, en economía, para monitorear en línea índices bursátiles²¹, en geología, para monitorear actividad sísmológica, en electricidad, para monitorear operación de transformadores eléctricos²², entre otras. La necesidad de anteceder a un evento en particular y la tecnología permiten tomar decisiones rápidas para salvaguardar vidas, equipos y procesos.

²⁰ Disponible en internet: <http://www.corfo.cl/sala-de-prensa/noticias/febrero-2011/monitoreo-en-linea-de-proceso-de-biolixiviacion-despierta-interes-en-la-industria-minera>.

²¹ Disponible en internet: http://www.iimv.org/actividades2/08_Tecnologia/ChristianSistemas%20de%20alertas%20tempranas.pdf

²² Disponible en internet: <http://www.labplan.ufsc.br/congressos/XIII%20Eriac/A2/A2-107.pdf>

La aplicación de sensores en automóviles viene siendo implementada desde el siglo pasado a la par de los avances en electrónica. En la actualidad, los equipos de minería poseen diversos sensores en varios sistemas de la maquina que permiten no solo hacer más eficiente el proceso de la combustión, si no también medir diferentes variables (presión de aceite, temperatura de aceite, temperatura de refrigerante, entre otros), almacenar su valor en una unidad de recolección de datos, la cual provee información al operador mediante una pantalla que se halla ubicada en la cabina.

Sin embargo, la mayoría de estos sistemas presentan la desventaja para el personal de mantenimiento de detener el funcionamiento del equipo, con sus consecuencias en cuanto a disponibilidad, para extraer la información y utilizarla como soporte en la gestión del mantenimiento. Como es de suponerse, la información es desactualizada y muchas de las acciones que se toman para responder a determinado problema son tardías.

El salto a monitoreo en línea se hizo posible gracias al desarrollo de las redes inalámbricas de malla (wireless mess networks) con las cuales se pudo transmitir datos sin la necesidad de tener conexión física directa por medio de cables, por el contrario la transmisión se da por medio electromagnético y los receptores o usuarios pueden estar tanto cerca como lejos de la fuente de la señal.

Posteriormente se desarrollaron programas computacionales (software) que permitían la visualización, manipulación y análisis de los datos recolectados desde sitios remotos y desde cualquier computador, flexibilizando de manera significativa la adquisición de los datos y dinamizando la toma de decisiones.

El desarrollo de monitoreo en línea y remoto de variables de trabajo está siendo aun desarrollada por las compañías fabricantes de equipo minero tales como Caterpillar, Komatsu, P&H, entre otras. Estos instalan redes de sensores que comunican su información a sistemas centralizados o ECU (Engine Control Unit), unidades programables que son el cerebro de la maquina y permiten entre otras funciones convertir en palabras las señales provenientes de los sensores, estas son llamados eventos OEM.

Pocas compañías han logrado desarrollar la estructura necesaria y estable para soportar la transmisión permanente de los datos generados por todos los equipos a lo largo de una mina, y los estudios sobre el RTCM por lo tanto viene siendo liderado por estas, que avanzan en investigaciones para ampliar cobertura de equipos, estabilidad del sistema, ampliación de la base de datos, diseñar interfaces sistema-usuario amables, utilidades para analizar la base de datos.

Ejemplos de algunos sistemas que se están usando en la actualidad son los siguientes:

Caterpillar

Vehicle Information Management Systems (VIMS®)²³: Este sistema desarrollado por Caterpillar, es una herramienta diseñada para proveer tanto a personal de producción como de mantenimiento, un amplio rango de funciones vitales de la maquina , numerosos sensores son integrados dentro del diseño del vehículo .Si VIMS detecta alguna condición anormal de funcionamiento en la operación de la maquina, alertara al operador y lo instruirá para tomar acciones apropiadas, donde se requiera modificar la acción de la operación, notificando al taller la necesidad de mantenimiento o desarrollar el apagado seguro de la maquina. Esto, mejora la disponibilidad, vida de componentes y producción, mientras reduce tanto los costos de las reparaciones como el riesgo de fallas catastróficas. En otros tipos de maquinas Caterpillar también es incluida información de desempeño de la producción. Esta almacena varios elementos del ciclo del camión, tiempo de carga, viaje cargado, tiempo de descarga, y viaje descargado con tiempos de retrasos.

Toda esta información es creada para usar reportes y gráficos, permitiendo hacer análisis inteligentes y tomar mejores decisiones para hacer más eficiente la operación.

²³ Disponible en internet: <http://www.cat.com/cda/layout?m=37502&x=9>

P&H

Prevail®²⁴: Las palas eléctricas P&H usan controladores y unidades procesadoras electrónicas de alta sofisticación para sincronizar todo desde el control de mando del operador a los motores eléctricos y grupos de transmisión

Prevail®. es una poderosa herramienta de monitoreo remoto de la salud de las palas modernas P&H, desarrollado con la intención de optimizar la confiabilidad y el desempeño en productividad de estas.

Este, monitorea una red neural que contiene más de 500 sistemas tanto mecánicos como eléctricos de desempeño y seguimiento de nodos en la pala, eficientemente destila grandes volúmenes de rendimiento de la maquina y datos de la salud del sistema en valioso conocimiento que ayuda a los equipos de mantenimiento y operación a optimizar la productividad y disponibilidad para un menor costo por tonelada de la mina.

Makitron

Mobile Equipment Monitoring (MEM)²⁵: Monitor de Equipo Móvil (MEM) es un sistema de vigilancia integral y escalable que satisface las necesidades tanto de la mina más pequeña como de la mayor empresa multi-sitio. El acceso remoto a datos a través de la red inalámbrica de la mina permite una visibilidad inmediata

²⁴ Disponible en internet: <http://www.phmining.com/en/PHMining/Mining-Equipment/Technology-Upgrades/Prevail.htm>

²⁵ Disponible en Internet: <http://www.matrikon.com/news/246/index.aspx>

de los activos y el rendimiento del operador, es decir, los gerentes de operaciones y equipos de mantenimiento pueden disponer de información fiable para actuar, en cualquier momento.

MEM recoge datos en tiempo real de operación e información de alarma de camiones de transporte, palas y cargadores. Ofrece visualización de datos, análisis y tendencias, que contribuyen a mejorar el rendimiento de la flota y la capacidad para reducir o prevenir fallas catastróficas de los componentes. Los resultados finales son una reducción significativa de costos en operación y mantenimiento, vida más larga del equipo y mejora de la seguridad en las minas.

Modular Mining Systems

Minecare®²⁶: El sistema Minecare® es una herramienta de software de mantenimiento diseñada para reducir los costos del ciclo de vida de equipos móviles a través de la administración en tiempo real de los procesos de mantenimiento y del estado de los equipos. El monitoreo remoto de las condiciones, historial de mantenimiento y los datos operacionales de integran para proveerle al usuario final información suficiente para tomar decisiones de mantenimiento optimas.

El software recolecta datos de una amplia variedad de fuentes tales como el sistema de monitoreo OEM Modular Ready, historial de reparación, bases de

²⁶ Disponible en Internet: <http://mmsi.com/product/minecare/>

datos de mantenimiento predictivas. Continuamente integra y analiza estos datos para medir el estado de los equipos. Cuando se detectan condiciones anómalas, se notifica al personal de mantenimiento. La detección temprana de la degradación de su estado reduce las probabilidades de una falla catastrófica y permite que se ejecuten mas reparaciones programadas que no programadas, lo que resulta en costos reducidos y la interrupción mínima del proceso de producción.

6. RETROEXCAVADORAS KOMATSU PC4000

La flota de cargue hidráulico de Carbones del Cerrejón Limited, está compuesta por varias referencias de palas y retroexcavadoras como Hitachi, Liebherr y Komatsu. Estas realizan labores de cargue de material estéril en camiones de diferente capacidad de carga y están asignadas a diferentes tajos de la mina.

Las palas Komatsu hacen parte de la flota de Cargue Hidráulico y son en total 11 maquinas, de estas, 6 corresponden a la referencia PC-8000 Diesel frontales, y las 5 restantes corresponden a la referencia PC4000-6 Diesel tipo retro.

Estas últimas están accionadas por un potente motor Diesel de 1875 hp y tienen una capacidad en tolva de 22 m³. Ver figura 10.

Figura 27. Pala Komatsu PC4000.



Fuente: <http://www.flickr.com/photos/hgbinte/3516323818>

Las características técnicas y las condiciones operacionales de las Palas PC4000 se listan a continuación en las tablas 4 y 5.

Tabla1. Características técnicas de las palas PC4000

CARACTERISTICAS TECNICAS	
ALIMENTACION MOTOR DIESEL	
Modelo	Komatsu SDA16V160
Tipo	4-ciclos, refrigerada con agua, Inyección directa
Admision	Turbocargada y Postenfriada
Numero de Cilindros	16
Potencia Nominal (SAE 1995/J1349)	1400 kW 1875 HP @ 1800 rpm
Governador	Electronico, todas las velocidades
ALIMENTACION MOTOR ELECTRICO	

Tipo	Motor de Induccion Jaula de Ardilla
Salida de Potencia	1350 kW
Voltaje	6600 V
Amperaje	145 A
Frecuencia	50 Hz @ 1500 rpm
Frecuencia Opcional	60 Hz @ 1800 rpm
SISTEMAS ELECTRICOS	
Systemas	24 V
Baterias (serie/paralelo)	2 X 3 X 12 V
Alternador	260 A
Luces Estandar de Trabajo	8 Luces de Xenon
Luces Estandar de Servicio	11 Luces
SISTEMA HIDRAULICO	
Flujo Nominal	4140 ltr/min
Ajuste Valvula de Alivio	310 bar
Tasa de flujo de giro	1590 ltr/min
Presion Alta linea Filtros	200 micrones
TRANSMISIONES Y FRENOS	
Control de viaje	2 pedales de pie
Graduabilidad	Mayor a 50%
Velocidad de viaje	2.1 km/h
Freno de servicio	Freno hidraulico
Freno de Parqueo	Humedo, disco multiple
SYSTEMA DE GIRO	
Unidades y motores hidraulicos	2
Freno de Servicio de giro	Freno Hidraulico
Freno de Parqueo de giro	Humedo, disco multiple
Velocidad de giro	4 rpm
Dientes de corona de giro	Externos

Fuente: Komatsu Mining Germany, PC4000-6 Diesel. Brochure.

Tabla 2. Características productivas de las palas PC4000

CARACTERISTICAS PRODUCTIVAS	
Fuerzas de Excavación	
Division de fuerza	1250 kN
Multitud de fuerza	1330 kN
Altura de descarga maxima	12000 mm
Combinación de Cuchara, Brazo, Pala Y Pluma	
Capacidad de Cucharon	Amontonado 2:1- 22 m3
	Amontonado 1:1- 25 m3
Ancho	4020 mm
Peso	38.8 t
Dientes	5
Longitud brazo	7150 mm
Longitud de palanca	4900 mm

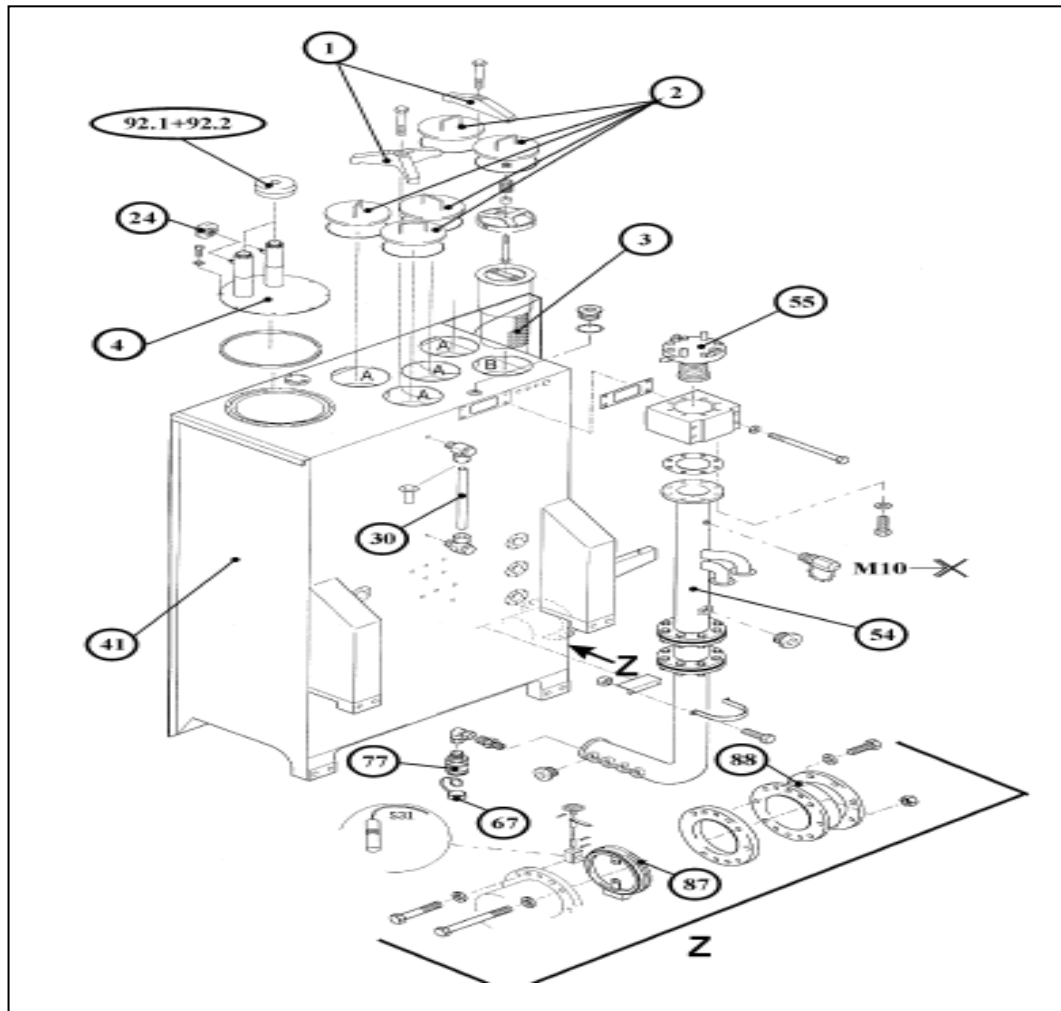
Fuente: Komatsu Mining Germany, PC4000-6 Diesel. Brochure

Los sistemas principales de esta pala son:

6.1. DEPÓSITO DE ACEITE HIDRÁULICO

El tanque de aceite hidráulico tiene una capacidad de 3700 litros y está construido en lámina de metal soldada, Ver figura 11. Posee 4 filtros de aceite de retorno (3-A) y un filtro de drenaje de caja - (3-B). El filtro del respirador (92.1 + 92.2) limpia el aire que entra al tanque. La válvula de contrapresión (55) y el punto de revisión de presión (M10) están ubicados en el tubo recolector (54) de aceite de retorno. La conexión al tanque de succión se puede cerrar con la válvula de cierre (87) para evitar flujo de aceite durante la reparación de las bombas hidráulicas. El interruptor S31 controla esta unidad; evita que el motor encienda cuando una válvula de cierre está cerrada.

Figura 28. Tanque de Aceite Hidráulico



Fuente: Komatsu Mining Germany. PC4000-6 Diesel. Manual de Servicio.

6.2. SISTEMA HIDRÁULICO OPERACIONAL

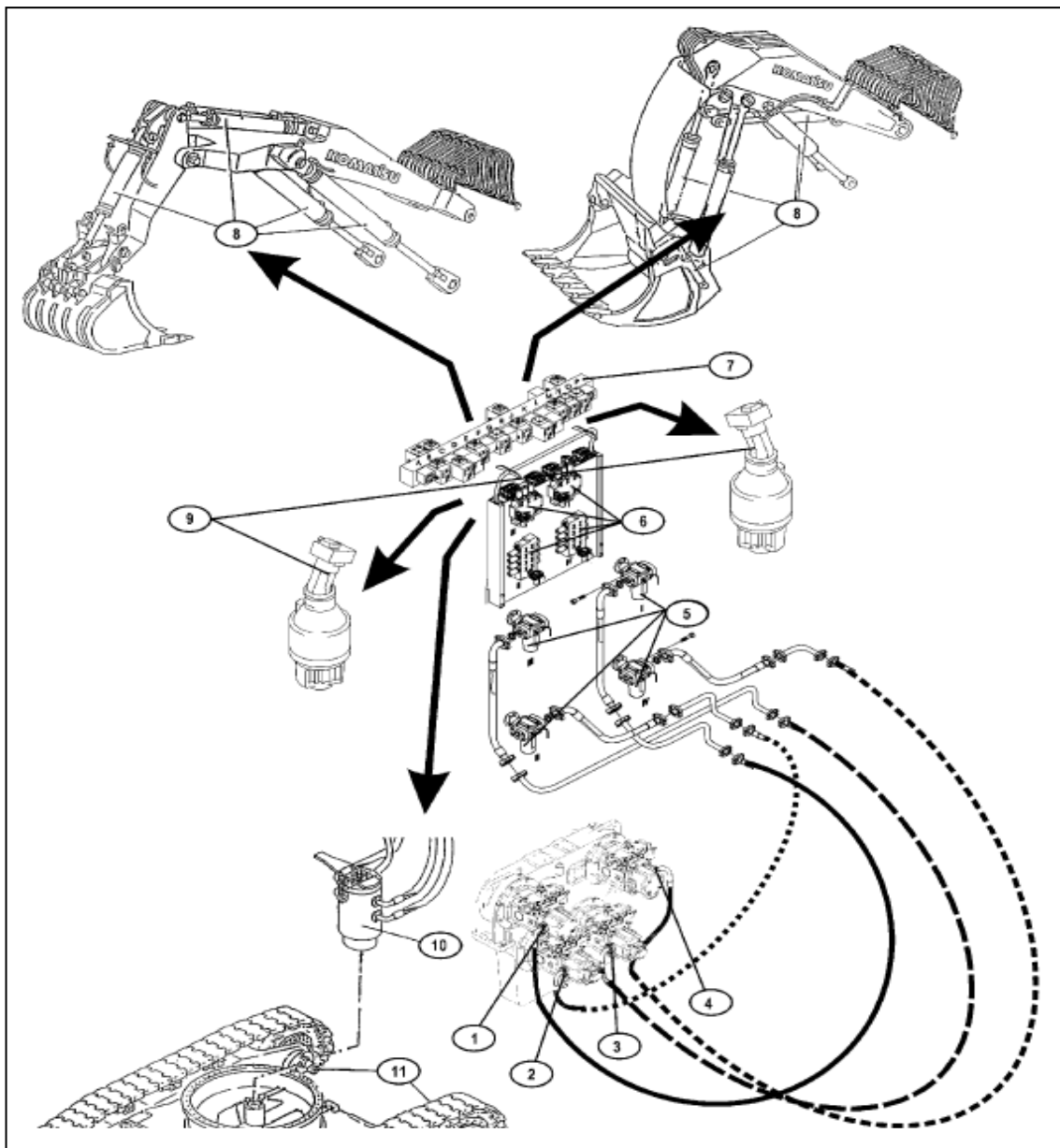
De acuerdo a la figura 12, este sistema está compuesto por los siguientes elementos

- Componentes (1 – 4) : Bombas principales
- Componente (5): Filtros de alta presión.
- Componente (6): Bloques de control principales
- Componente (7): Múltiple de distribución
- Componente (8): Cilindros de acoplamiento
- Componentes (9): Motores de giro
- Componente (10): Unión Rotativa
- Componente (11): Motores de marcha

Cada bomba principal (1 a 4) envía aceite por medio de las mangueras que lo conducen a través de los filtros de alta presión (5) al puerto P de los bloques de control principales (6). Esto forma circuitos que de acuerdo a las señales que se reciban de los pedales y joystick derecho e izquierdo, energizan y desenergizan las bobinas de los bloques de control. El aceite es canalizado por el múltiple de distribución de aceite (7) y llega a los diferentes cilindros de acoplamiento (8) que hay disponibles para brazo, cuchara, pala y pluma.

El circuito hidráulico de giro posee dos velocidades. Para accionarlo dos de las bombas principales impulsan aceite por los motores de giro (9), estos al tener sus ejes solidarios a la corona de giro efectúan el movimiento de rotación deseado.

Figura 29. Sistema hidráulico operacional



Fuente : Komatsu Mining Germany. PC4000-6 Diesel. Manual de Servicio.

6.3. SISTEMA TRANSMISIÓN

De acuerdo a la figura 13, el sistema de transmisión de potencia está compuesto por:

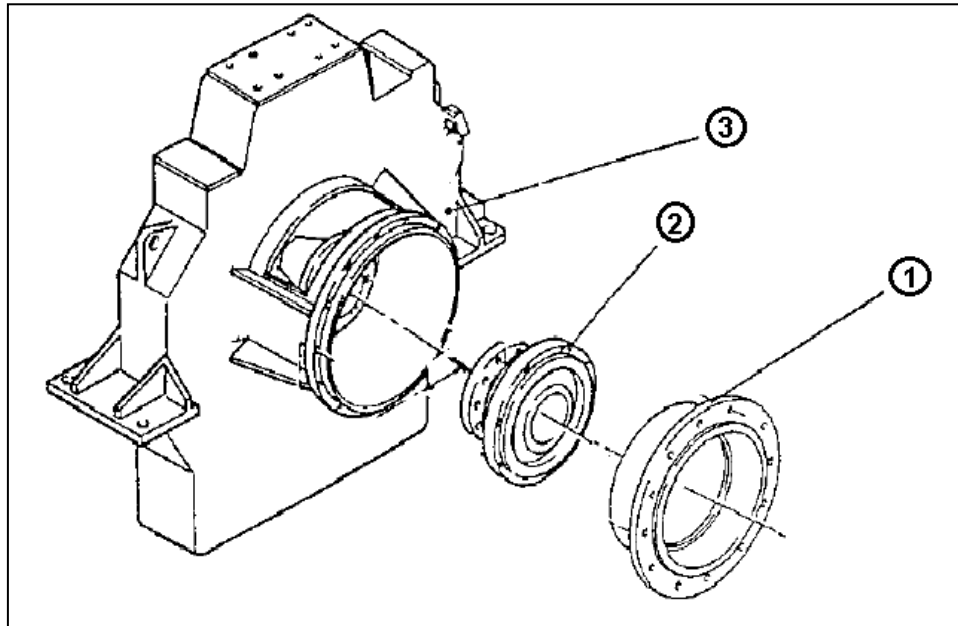
- Componente (1) : Brida de Acople
- Componente (2): Acoplamiento tipo Torsión.
- Componente (3): Caja de engranajes de Distribución de las bombas (PTO)

Un acople flexible, con su respectiva brida (1 y 2) son la conexión entre el motor y el PTO. Este tiene la elasticidad de sus resortes, combinada con un humedecimiento viscoso adicional con desplazamiento de aceite que asegura reducir la intensidad de las vibraciones de torsión, obteniendo un rango más amplio de velocidad y libre de resonancias peligrosas. El PTO, es una caja de una sola pieza de fundición de hierro que contiene el engranaje de transmisión de potencia de las bombas principales que mueven el aceite hidráulico (engranaje del PTO), este diseño es de dientes rectos y es accionado por un motor Diesel.

El engranaje del PTO tiene dientes de acero templado, funciona sobre cojinetes anti-fricción y tiene un sistema de lubricación por salpique. El suministro de aceite a los cojinetes y contactos de dientes se efectúa por inyección. Las bombas hidráulicas principales van unidas directamente a la caja de engranajes, los anillos "O" proporcionan un sellado estático.

El diseño de la caja permite su unión directa al motor mediante una brida de conexión mencionada y enumerada anteriormente.

Figura 30. Sistema Transmisión de Potencia PC4000



Fuente: Komatsu Mining Germany. PC4000-6 Diesel. Manual de Servicio.

6.4. SISTEMA DE LUBRICACIÓN CENTRAL

Según la figura 14, este sistema está compuesto por:

- Componente (1) : Propulsión de la bomba de lubricación (Cilindro hidráulico)
- Componente (2): Válvula Solenoide (Suministro de presión de aceite)
- Componente (3): Válvula control de flujo
- Componente (4): Válvula reductora de presión
- Componente (5): Línea de suministro de aceite hidráulico (presión piloto)

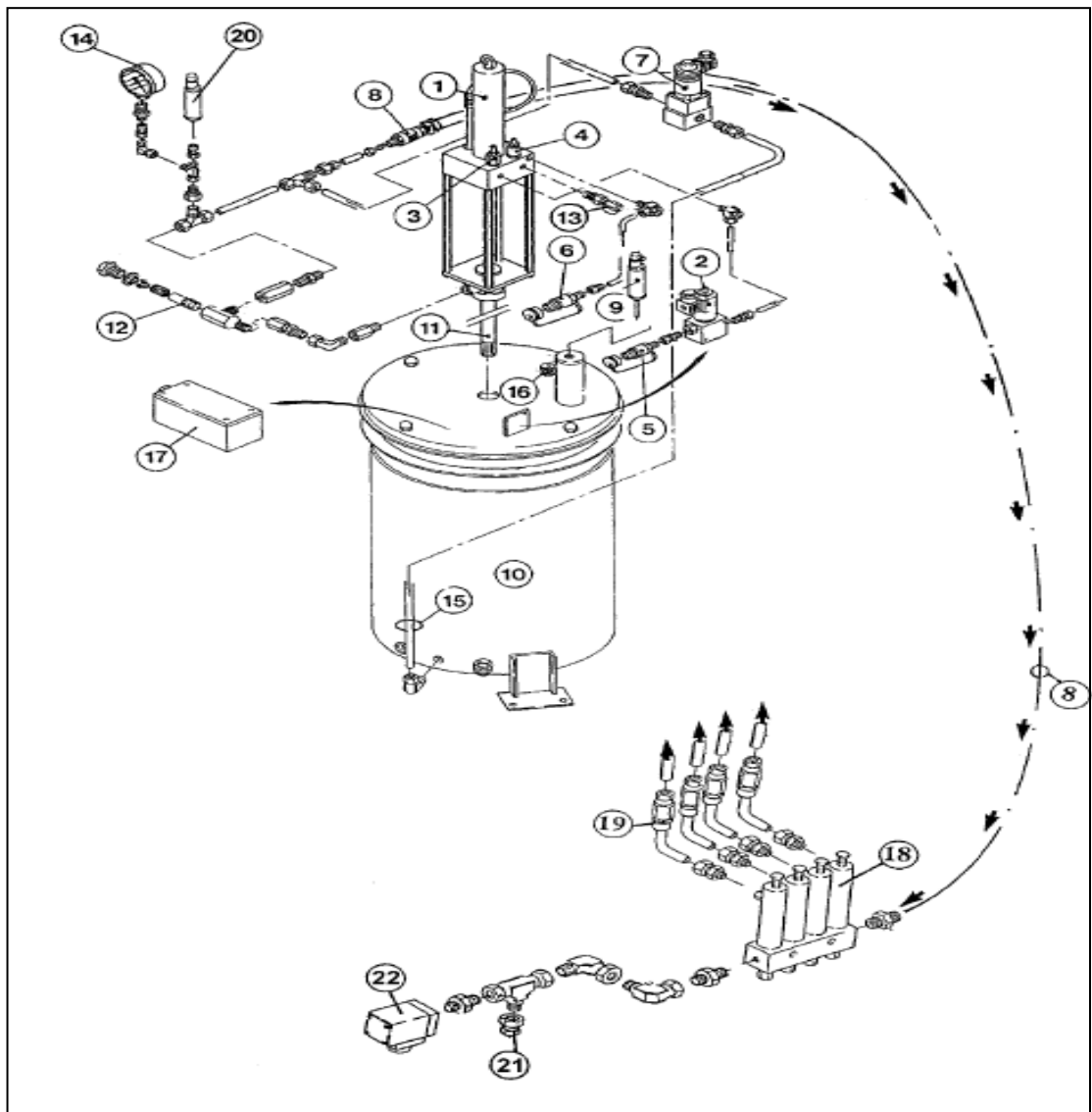
- Componente (6): Línea de retorno de aceite hidráulico
- Componente (7): Válvula de Ventilación (Válvula solenoide, cortada la corriente abre paso hacia el depósito circular)
- Componente (8): Línea de suministro de grasa para los inyectores
- Componente (9): Indicador de nivel del lubricante (sonar: envío y recepción)
- Componente (10): Depósito circular del lubricante
- Componente (11): Mecanismo de la bomba
- Componente (12): Filtro del lubricante
- Componente (13): Conector de prueba de presión hidráulica (Presión de operación)
- Componente (14): Manómetro de presión del lubricante (Presión de operación)
- Componente (15): Línea de ventilación al depósito circular
- Componente (16): Respirador
- Componente (17): Caja de terminales eléctricos
- Componente (18): Inyector
- Componente (19): Línea de suministro de lubricante para los rodamientos (puntos de lubricación)
- Componente (20): Sensor de presión del lubricante
- Componente (21): Punto de prueba de la presión del lubricante
- Componente (22): Interruptor de fin de línea.

Esta retroexcavadora tiene un engranaje y muchos rodamientos abiertos para el giro (Ver figura 14), estos requieren de lubricación suficiente a intervalos regulares y que es necesario para mantener la excavadora trabajando con menos tiempos muertos, mayor tiempo de vida útil y costos de reparación menores. Para cumplir con esta función, se cuenta con dos sistemas automáticos que garantizan una lubricación suficiente.

Un sistema alimenta al acoplamiento y al rodamiento para el giro circular. Se llama “Sistema de Lubricación Central” (CLS). Este CLS utiliza grasa normal para Rodamientos deslizantes de acuerdo con el fabricante.

Una bomba hidráulica de lubricación (1, 11) bombea grasa del barril (10) a través de los tubos (8) o mangueras hacia los Inyectores (18). Estos inyectores bombean una cantidad definida de grasa a los puntos de lubricación. Después de que todos los Inyectores hayan lubricado, la bomba de grasa se detiene y el siguiente ciclo de lubricación comienza luego de un tiempo predeterminado. El Sistema de Lubricación Central está activo únicamente si la máquina está en marcha.

Figura 31. Sistema de Lubricación Central



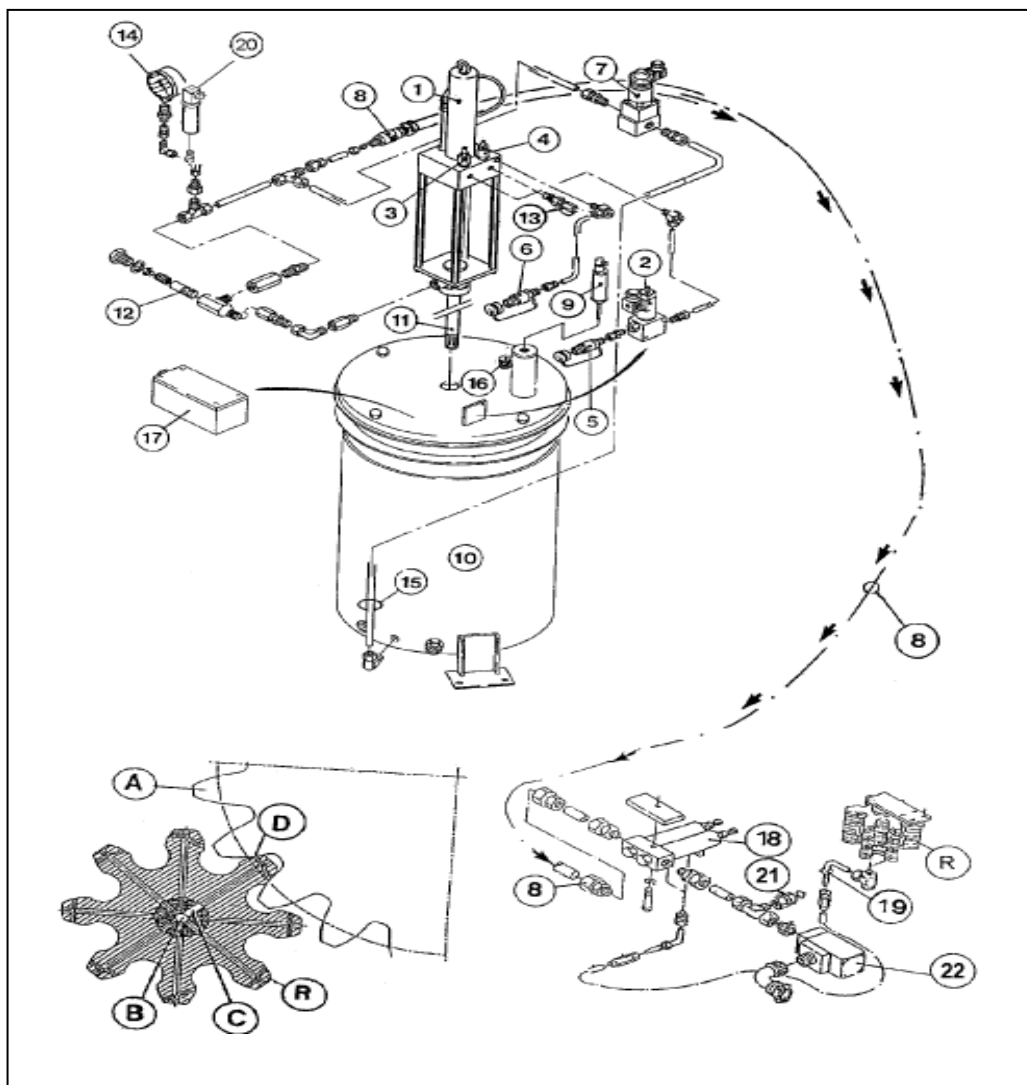
Fuente: Komatsu Mining Germany. PC4000-6 Diesel. Manual de Servicio

6.5. SISTEMA DE LUBRICACIÓN CORONA DE GIRO

La figura 32 muestra el sistema de lubricación del engranaje de giro circular, este utiliza una rueda loca especial para aplicar la grasa para engranajes en el engranaje de giro circular. Todos los otros componentes localizados entre el depósito circular del lubricante y los inyectores constituyen el sistema de lubricación central. La “rueda loca” recibe por cada ciclo de lubricación grasa de dos o más inyectores que están conectados en paralelo. Después de que los Inyectores han bombeado la cantidad de grasa a través de la “rueda loca” hacia engranaje de giro la bomba se detiene y comienza el siguiente ciclo de engrase después de un tiempo predeterminado (tiempo de pausa). La lubricación del sistema de giro circular comienza únicamente cuando el giro está activo.

Es posible activar manualmente el sistema de lubricación del engranaje de giro conmutando el interruptor S26 localizado en el tablero de instrumentos. El controlador cuenta el número de conmutaciones del interruptor y opera el sistema este mismo número de veces, una a una, siempre y cuando la función de giro esté activada. El sistema reposa entre cada ciclo durante un tiempo ajustable (tiempo de alivio de presión).

Figura 32. Sistema de lubricación corona de giro



Fuente: Komatsu Mining Germany. PC4000-6 Diesel. Manual de Servicio

6.6. SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE ACEITES

Debido a su operación, los aceites del sistema hidráulico y del PTO deben ser refrigerados para que permanezcan dentro de un rango de temperatura de trabajo adecuado, permitiendo así una efectiva lubricación y funcionamiento de los cilindros de acoplamiento.

Este intercambiador de calor dedica su mayor parte estructural a enfriar el aceite hidráulico, y el resto al aceite de PTO, de manera que el aire que atraviesa la estructura enfría tanto a uno como al otro.

6.6.1. Enfriamiento Aceite Hidráulico. A continuación se describe el enfriador de aceite hidráulico, ver figura 16.

- Componente(32.1 - 32.4) Restrictor, amortiguadores del enfriador de aceite hidráulico
- Componente(39.1 + 39.2) Enfriador de aceite hidráulico
- Componente (41): Depósito de aceite principal
- Componente (54): Tubo recolector de aceite de retorno
- Componente (55): Válvula de contrapresión
- Componente (L6 + L7): Línea de retorno desde los bloques de control

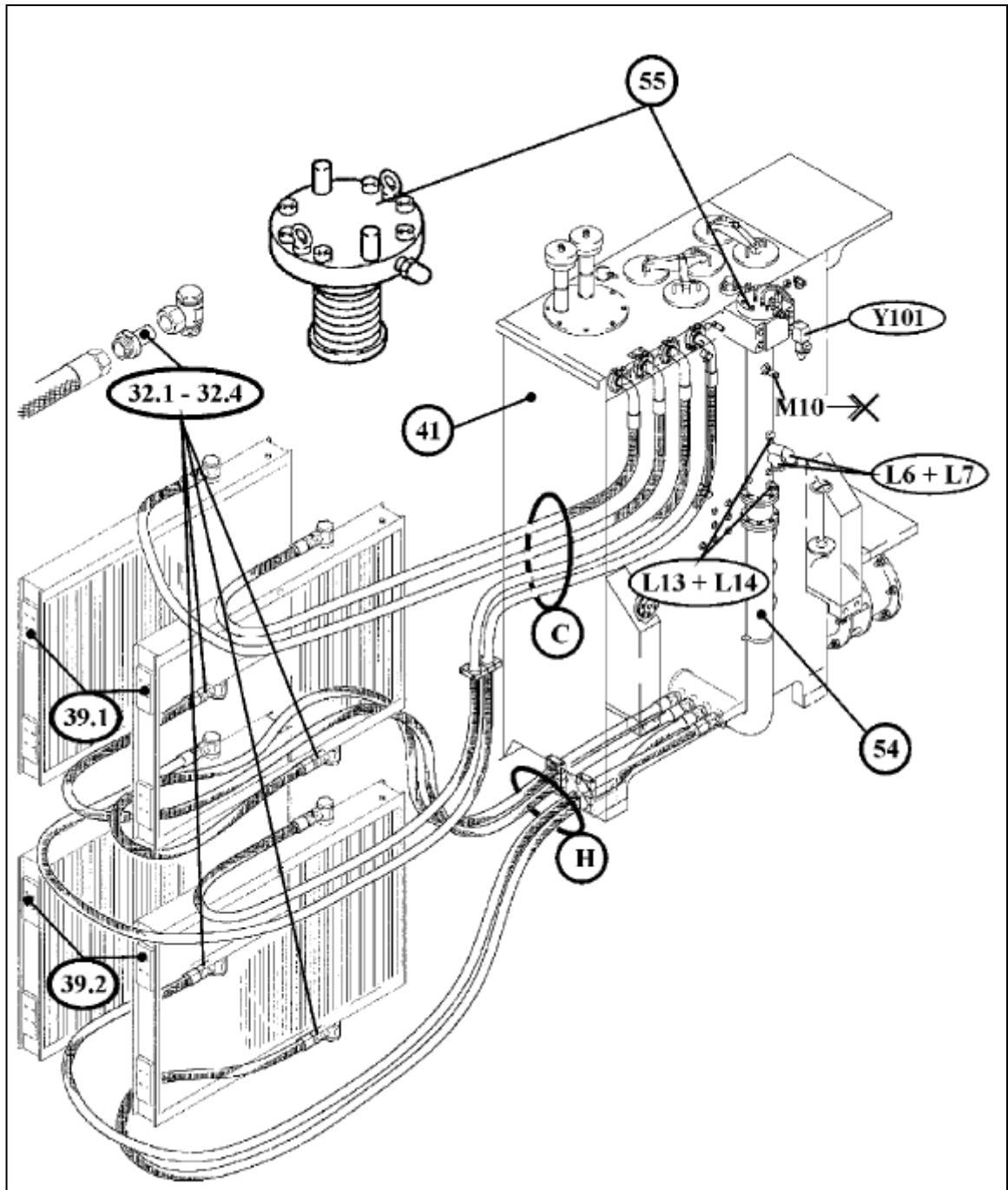
- Componente (L13 + L14): Línea de suministro del circuito anticavitacional de los motores de giro.
- Componente (M10) Punto de revisión de presión
- Componente (Y101): Válvula solenoide – 4/2-válvula de control direccional
- Componente (H) Líneas hacia enfriador (aceite caliente)
- Componente (C): Líneas hacia el tanque (aceite frío)

El aceite de retorno del sistema fluye a través de las líneas (L6 - L7) hacia el tubo recolector (54). Sobre este está instalada la válvula de contrapresión (55). Esta válvula obliga a la mayor parte del aceite caliente a pasar por las líneas (H) hacia el enfriador (39.1 + 39.2).

En su paso por el enfriador, el aceite hidráulico disminuye su temperatura y luego fluye a través de los restrictores (32.1 - 32.4) y de las líneas (C) hacia la cámara de filtrado del depósito de aceite principal (41). Los restrictores actúan como amortiguadores para evitar que el enfriador se agriete cuando hay picos de presión.

Con el incremento de la temperatura, las bombas principales aumentan el caudal y la válvula solenoide Y101 se desenergiza permitiendo que pase mas aceite por el enfriador.

Figura 33. Sistema Hidráulico PC4000



Fuente: Komatsu Mining Germany. PC4000-6 Diesel. Manual de Servicio

6.6.2. Enfriamiento Aceite Transmisión (Caja de engranajes). El sistema de enfriamiento del aceite de transmisión es el siguiente, ver figura 17.

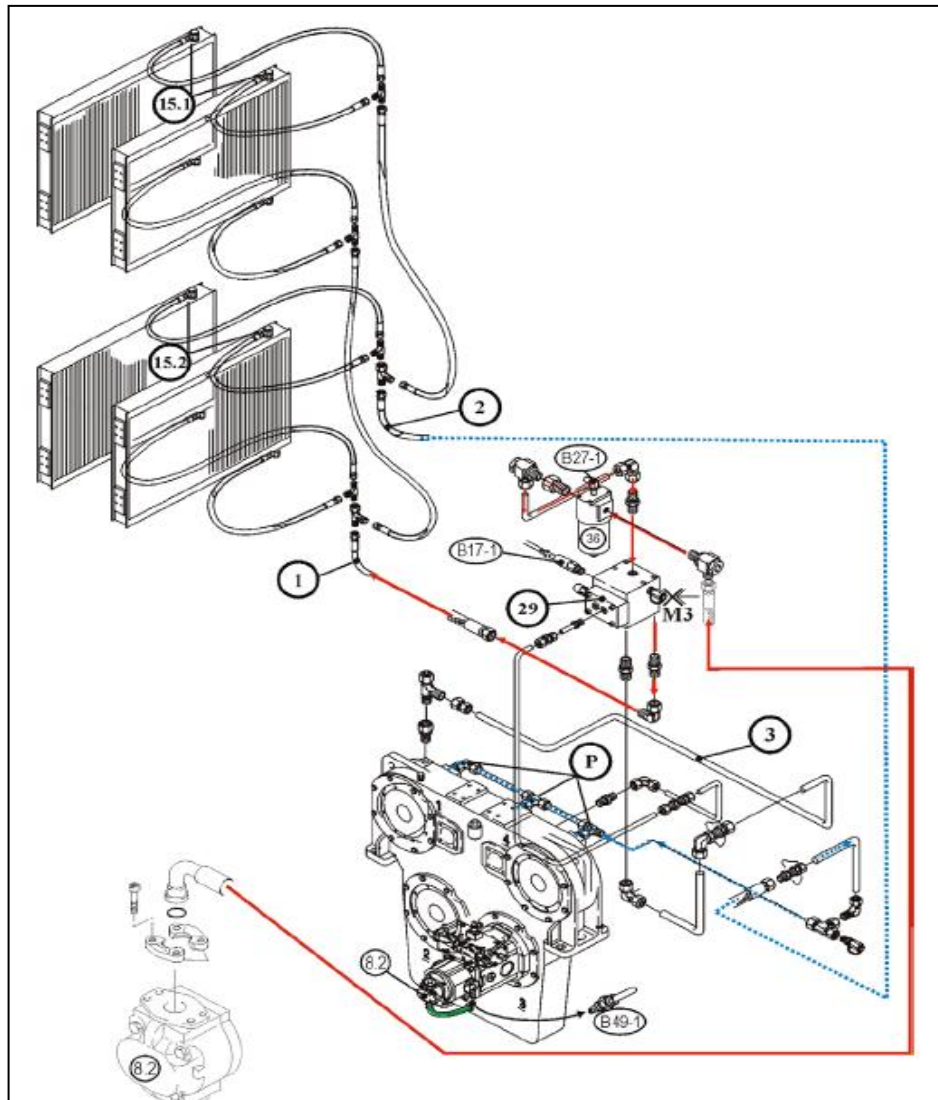
- Componente (1): Línea al enfriador (aceite caliente).
- Componente (2): Línea de retorno desde el enfriador (aceite frío).
- Componente (3): Línea de retorno desde la válvula.
- Componente (P): Puerto de presión.
- Componente (8.2): Bomba de engranajes del PTO-lubricación de la caja de Engranajes.
- Componente (36): Filtro de presión – lubricación del engranaje del PTO.
- Componente (B27-1): Interruptor de mantenimiento, 5 bar
- Componente (29): Válvula de alivio de presión, 10 bar.
- Componente (M3): Punto de revisión de presión
- Componente (15.1+15.2) Enfriador de aceite, parte del enfriador de aceite hidráulico
- Componente (B49-1): Sensor de temperatura

Función: Por medio de la bomba (8.2) se hace pasar el aceite de engranaje del depósito de aceite de engranaje a través del filtro (20) hasta la válvula de alivio de presión (21). Esta válvula actúa como una válvula de contrapresión que hace que casi todo el aceite pase por los enfriadores de aceite de engranaje (15.1+15.2). Luego de que se ha producido la transferencia de calor, el aceite pasa de los enfriadores al puerto (P) del engranaje y a su interior y finalmente pasan por un

sistema de tubos que lo conducen a unas toberas que lo pulverizan, asegurando una adecuada distribución del aceite

La unidad de sensores (B49-1) que monitorea la temperatura del aceite de engranajes es mostrada también en al grafica 17.

Figura 34. Circuito de enfriamiento aceite transmisión.



Fuente: Komatsu Mining Germany. PC4000-6 Diesel. Manual de Servicio

6.7. MOTOR

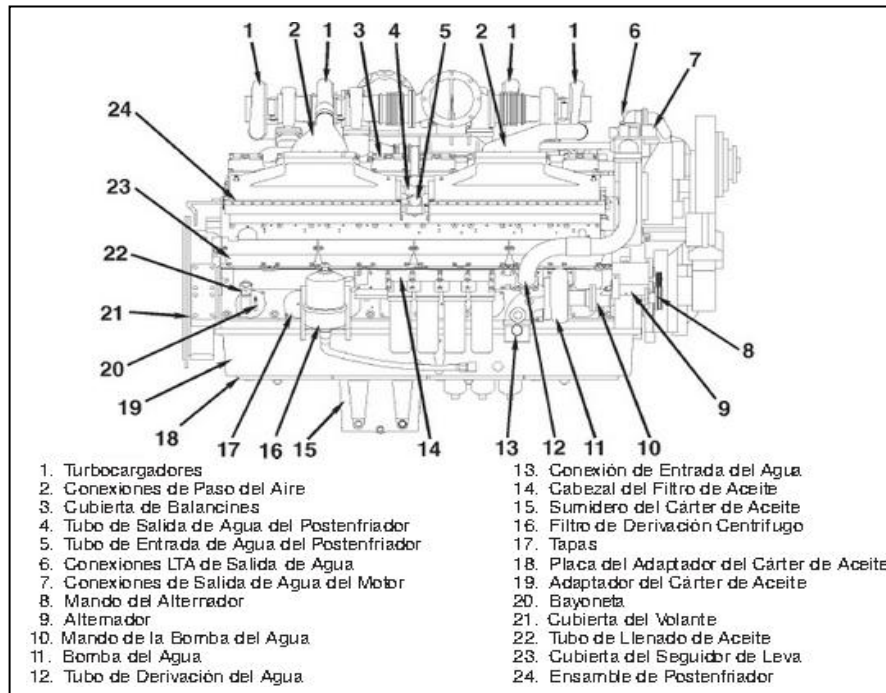
El motor que acciona la retroexcavadora es un Cummins QSK 60. Este motor va acoplado directamente al PTO y suministra la potencia necesaria para accionar varios sistemas, entre ellos el sistema hidráulico. Este motor tiene una cilindrada de 60 litros y una potencia nominal de 1875 hp. Las características técnicas de este motor y sus vistas principales son mostradas a continuación:

Figura 35. Características Técnicas Motor Cummins QSK 60

QSK60	
Potencia	Consulte la placa de datos del motor
Velocidad del Motor	Consulte los datos de calibración del sistema de combustible por rango de velocidad
Aspiración:	
.....	Turbocargado y postenfriado de una etapa
.....	Turbocargado, postenfriado, e interenfriado de dos etapas
Diámetro y Carrera	159 mm [6.25 pulg.] x 190 mm [7.48 pulg.]
Relación de Compresión:	
Industrial	Dependiente de la aplicación
Sistema de Enfriamiento de Dos Bombas - Dos Circuitos, Una Etapa o Dos Etapas	14.5:1 @ 1800 rpm 16.5:1 @ 1900 rpm
Generador de Potencia	Dependiente de la aplicación
Postenfriado por Camisa de Enfriamiento, Sistema de Enfriamiento de Dos Bombas - Dos Circuitos, TA Luft, ..	14.5:1 @ 1800 rpm/60 Hz 16.2:1 @ 1500 rpm/50 Hz
Desplazamiento	60 litros [3660 C.I.D.]
Orden de Encendido	1R-1L-3R-3L-2R-2L-5R-4L-8R-8L-6R-6L-7R-7L-4R-5L
Tipo	4 ciclos, 60 grados en v, 16 cilindros
Peso del Motor de Una Etapa (sólo estimaciones):	
Húmedo	7956 kg [17,540 lb]
Seco	7535 kg [16,612 lb]
Peso del Motor de Dos Etapas (sólo estimaciones):	
Húmedo	9305 kg [20,514 lb]
Seco	8852 kg [19,515 lb]
Rotación del Cigüeñal (vista desde el frente del motor)	En sentido de manecillas del reloj
Ajustes de Válvula e Inyector:	
Ajuste de la Válvula de Admisión	0.36 mm [0.014 pulg.]
Límites de la Válvula de Admisión	0.28 a 0.43 mm [0.011 a 0.017 pulg.]
Ajuste de la Válvula de Escape	0.81 mm [0.032 pulg.]
Límites de la Válvula de Escape	0.74 a 0.89 mm [0.029 a 0.035 pulg.]
Ajuste del Inyector por el Método de Círculo Base Externo (OBC) (en el motor)	19 N•m [168 lb-pulg.]

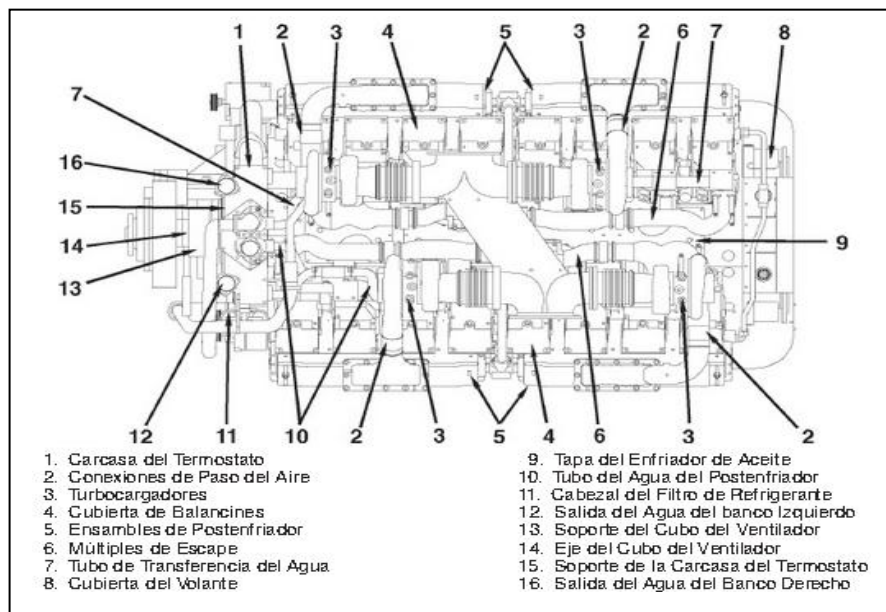
Fuente: Manual de operación y mantenimiento Motores series QSK45 y QSK60.Cummins Inc.
2001

Figura 36. Vista Lateral Derecha QSK60



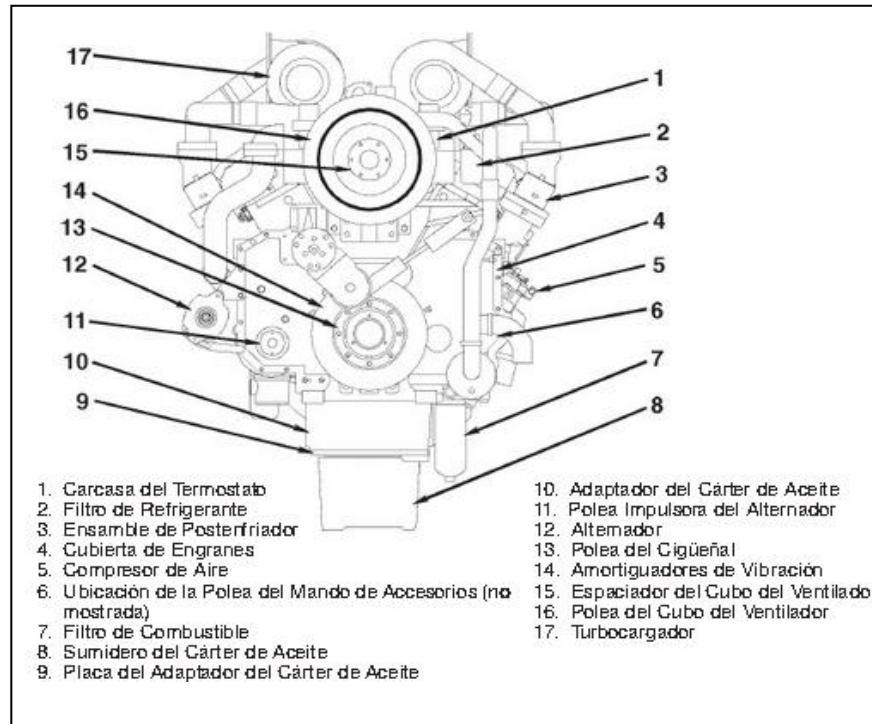
Fuente: Manual de operación y mantenimiento Motores series QSK45 y QSK60.Cummins Inc. 2001

Figura 37. Vista Superior QSK60



Fuente: Manual de operación y mantenimiento Motores series QSK45 y QSK60.Cummins Inc. 2001

Figura 38. Vista Frontal Motor Cummins QSK60



Fuente: Manual de operación y mantenimiento Motores series QSK45 y QSK60.Cummins Inc. 2001

6.8. SUBSISTEMAS MOTOR CUMMINS QSK60

Las características de los diferentes subsistemas del motor mencionado son presentadas a continuación:

6.8.1. Sistema De Admisión De Aire

Restricción Máxima Permisible de Admisión:	
Con Elemento Limpio del Filtro	380 mm H ₂ O [15 pulg. H ₂ O]
Con Elemento Sucio del Filtro	635 mm H ₂ O [25 pulg. H ₂ O]

Fuente: Manual de operación y mantenimiento Motores series QSK45 y QSK60.Cummins Inc. 2001

6.8.2. Sistema De Aceite Lubricante

Presión de Aceite, Galería Principal de Aceite (aceite 15W-40 a 107°C [225°F]):			
Mínima en rpm Nominales		310 kPa [45 psi]	
Máxima en rpm Nominales		483 kPa [70 psi]	
Mínima en rpm de Ralentí		172 kPa [25 psi]	
QSK60			
Máxima en velocidad Nominal (1900 rpm)		1060 litros/min. [280 gal./min.]	
Temperatura del Aceite - Máxima		120°C [248°F]	
Capacidad del Sumidero del Cáster de Aceite		Vea debajo	
Capacidad de Aceite Eliminator™ - Operación del Motor:			
QSK60		20 litros [5.2 gal.]	
Centrifugo Fleetguard® - Operación del Motor:			
Capacidad del Centrifugo		1 litro [0.26 gal.]	
Capacidad del Filtro de Aceite (cada filtro) Use solamente filtros Fleetguard No. de Parte 3919823 ó Cummins No. de Parte 4016413:			
Filtro de Combinación (se requieren tres en el QSK45, se requieren cuatro en el QSK60) .		2.65 litros [0.70 gal.]	
Ubicación del Número del Su- midero desde el Frente del Motor	Configuración del Sumidero	Capacidad del Cáster/Sumidero	Distancia desde el Centro del Cigüeñal al Fondo del Sumi- dero de Aceite
Motor QSK60	Sin Sumidero. Sólo Cuatro Cubiertas	176.0 litros [46.5 gal.]	514.3 mm [20.25 pulg.]
No. 2	Profundidad Sencilla de 11.2 Galones	217.6 litros [57.5 gal.]	789.0 mm [30.72 pulg.]
No. 3	Profundidad Sencilla de 11.2 Galones	217.6 litros [57.5 gal.]	789.0 mm [30.72 pulg.]
No. 1 & No. 2	Profundidad Doble de 22.4 Galones	261.2 litros [69.0 gal.]	789.0 mm [30.72 pulg.]
No. 2 & No. 3	Profundidad Doble de 22.4 Galones	261.2 litros [69.0 gal.]	789.0 mm [30.72 pulg.]
No. 3 & No. 4	Profundidad Doble de 22.4 Galones	261.2 litros [69.0 gal.]	789.0 mm [30.72 pulg.]

Fuente: Manual de operación y mantenimiento Motores series QSK45 y QSK60.Cummins Inc.
2001

6.8.3. Sistema de Enfriamiento

QSK60 (sólo estimaciones)	
Capacidad de Refrigerante (solamente el motor):	
Una Etapa	140 litros [37 gal.]
Dos Etapas	170 litros [45 gal.]
Rango del Termostato de Modulación Estándar	85 a 97°C [185°F a 207°F]
Rango del Termostato LTA Estándar	46 a 57°C [115°F a 135°F]
Temperatura Máxima Permisible del Tanque Superior	100°C [212°F]
Temperatura Máxima Permisible del Tanque Superior (sólo potencia principal)	104°C [220°F]
Temperatura Mínima Recomendada del Tanque Superior	71°C [160°F]
Tiempo Máximo Permisible de Deaeración	25 minutos
Merma Mínima permisible ó 20% de la Capacidad del Sistema (lo que sea mayor)	28 litros [7.4 gal.]
Tapón de Presión Mínima Permisible	76 kPa [11 psi]

Fuente: Manual de operación y mantenimiento Motores series QSK45 y QSK60.Cummins Inc.
2001

6.8.4. Subsistema de Escape

Contrapresión Máxima (en velocidad y carga nominales):	
QSK60 de Una Etapa (hasta e incluyendo 2000 hp)	75 mm Hg [3.0 pulg. Hg]
QSK60 de Una Etapa (mayor de 2000 hp)	50 mm Hg [2.0 pulg. Hg]
QSK60 de Dos Etapas (mayor de 2000 hp)	50 mm Hg [2.0 pulg. Hg]
Tamaño del Tubo de Escape (diámetro interior normalmente aceptable):	
QSK60 de Una Etapa	230 mm [9 pulg.]
QSK60 de Dos Etapas	254 mm [10 pulg.]

Fuente: Manual de operación y mantenimiento Motores series QSK45 y QSK60.Cummins Inc.
2001

6.8.5. Subsistema de Combustible

Velocidad de Ralenti del Motor	700 ±25 rpm
Restricción Máxima de Entrada de Combustible (a potencia nominal):	
Filtro de Combustible Limpio	100 mm Hg [4.0 pulg. Hg]
Filtro de Combustible Sucio	203 mm Hg [8.0 pulg. Hg]
Restricción Máxima de la Línea de Drenado de Combustible:	
Antes de las Válvulas Check	254 mm Hg [10 pulg. Hg]
Después de las Válvulas Check	228 mm Hg [9 pulg. Hg]
Capacidad Mínima Permisible de Ventilación del Tanque de Combustible:	
Con Contrapresión ≤152 mm H ₂ O [6 pulg. H ₂ O]	425 litros/hr [15 pies ³ /hr]

Fuente: Manual de operación y mantenimiento Motores series QSK45 y QSK60.Cummins Inc.
2001

6.8.6. Sistema Electrico

Capacidad Mínima Recomendada de la Bateria					
Modelo de Motor	Voltaje del Sistema	Rango de Temperatura	Amperes de Arranque en Frio	Capacidad de Reserva	Máx. Resistencia Permisible del Circuito de Arranque
QSK60	24	Arriba de 0°C [32°F]	1800	640 A	0.0020 Ω
QSK60 de dos etapas	24	Todos	1800	640 A	0.0020 Ω

Tamaños de Cable de Bateria - Calibre de Cable Americano (longitud máxima en el circuito del motor de arranque)

24 a 32-VDC

No. 00	6.1 m [20 pies]
No. 000	8.2 m [27 pies]
No. 0000 ó dos No. 0*	10.7 m [35 pies]
Dos No. 00	13.7 m [45 pies]

Velocidad Mínima al Dar Marcha sin Auxiliar para Arranque 150 rpm

* Se pueden usar dos alambres de cable No. 0 en lugar de un cable No. 0000, a condición de que se hagan cuidadosamente todas las conexiones para mantener igual flujo de corriente en cada cable paralelo.

NOTA: Están disponibles auxiliares de arranque tales como calentadores del block, calentadores del cárter de aceite lubricante, y cosas así, para ayudar en el arranque en clima frio.

NOTA: El número de placas dentro de un tamaño dado de bateria determina la capacidad de reserva. La capacidad de reserva es el lapso de tiempo en el que puede ocurrir marcha sostenida.

NOTA: Los rangos de CCA están basados en dos baterias de 12 VDC en serie.

Fuente: Manual de operación y mantenimiento Motores series QSK45 y QSK60.Cummins Inc.
2001

7. SISTEMA MINECARE

El sistema Minecare es una herramienta diseñada para monitorear remotamente las condiciones de variables de funcionamiento, historial y datos operacionales de los equipos mineros para brindar información suficiente a los usuarios que los ayude a tomar decisiones acertadas al respecto del mantenimiento de sus activos. Esto lo realiza por medio de la centralización de interfaces de diferentes tipos de equipo minero, y a su vez, de diferentes componentes de estos equipos que posee y que según requerimientos del usuario, se utilizan simultáneamente para localización de problemas de forma remota, sin interrumpir ciclos de carga, acarreo-volteo, minimizando tiempos Down.

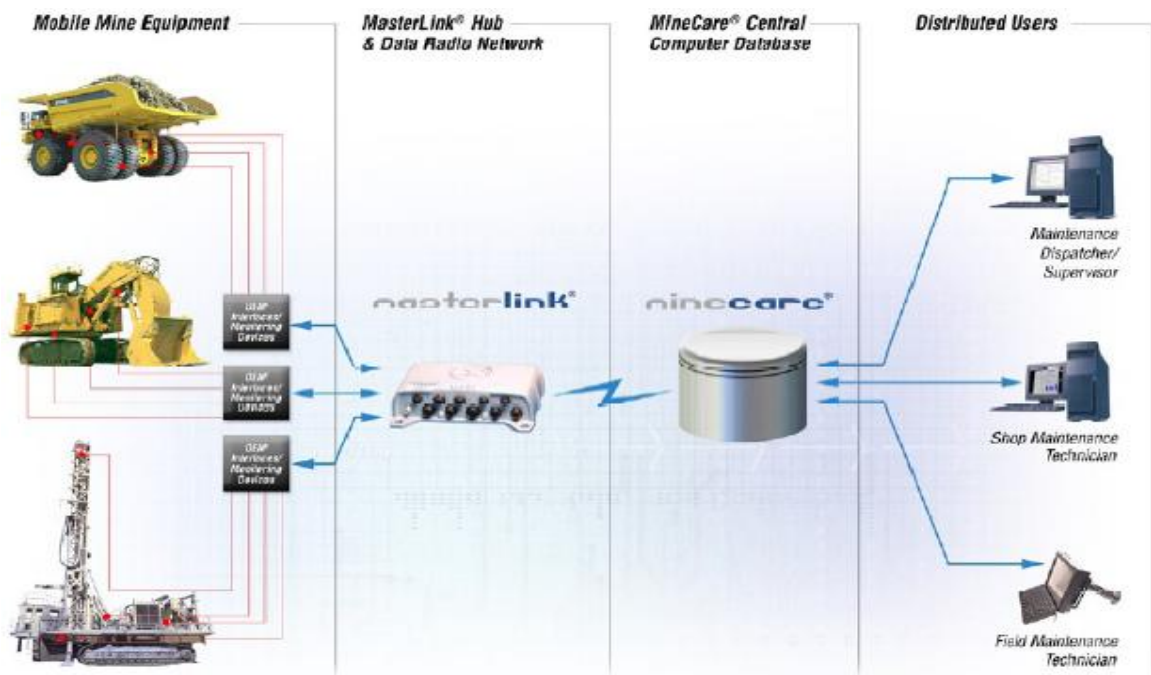
El funcionamiento de Minecare se representa en la figura 16 y a continuación se describe:

Los equipos mineros poseen sensores de diferente índole que permanentemente miden variables de trabajo, tales como temperaturas de gases de escape, presión de aceite motor, nivel de refrigerante, velocidad del motor, entre otras y las envían al modulo de control de motor (ECM) para que este ajuste las condiciones de operación del equipo.

El ECM se conecta al VHMS (Vehicle Health Monitoring System) de la pala y por medio de un concentrador de datos denominado Hub Masterlink, la información de

la maquina, se recoge, procesa y transmite a través de una red inalámbrica y se centraliza en una base de datos que la almacena, posteriormente cada usuario por medio de las 4 aplicaciones que ofrece el sistema, consulta esta base de datos y extrae la información que se requiera.

Figura 39. Funcionamiento sistema Minecare



Fuente: Modular Mining Systems. Foundational Awareness Training CJN. 2010

Las 4 aplicaciones que el sistema Minecare posee para la visualización y análisis de los datos obtenidos son las siguientes:

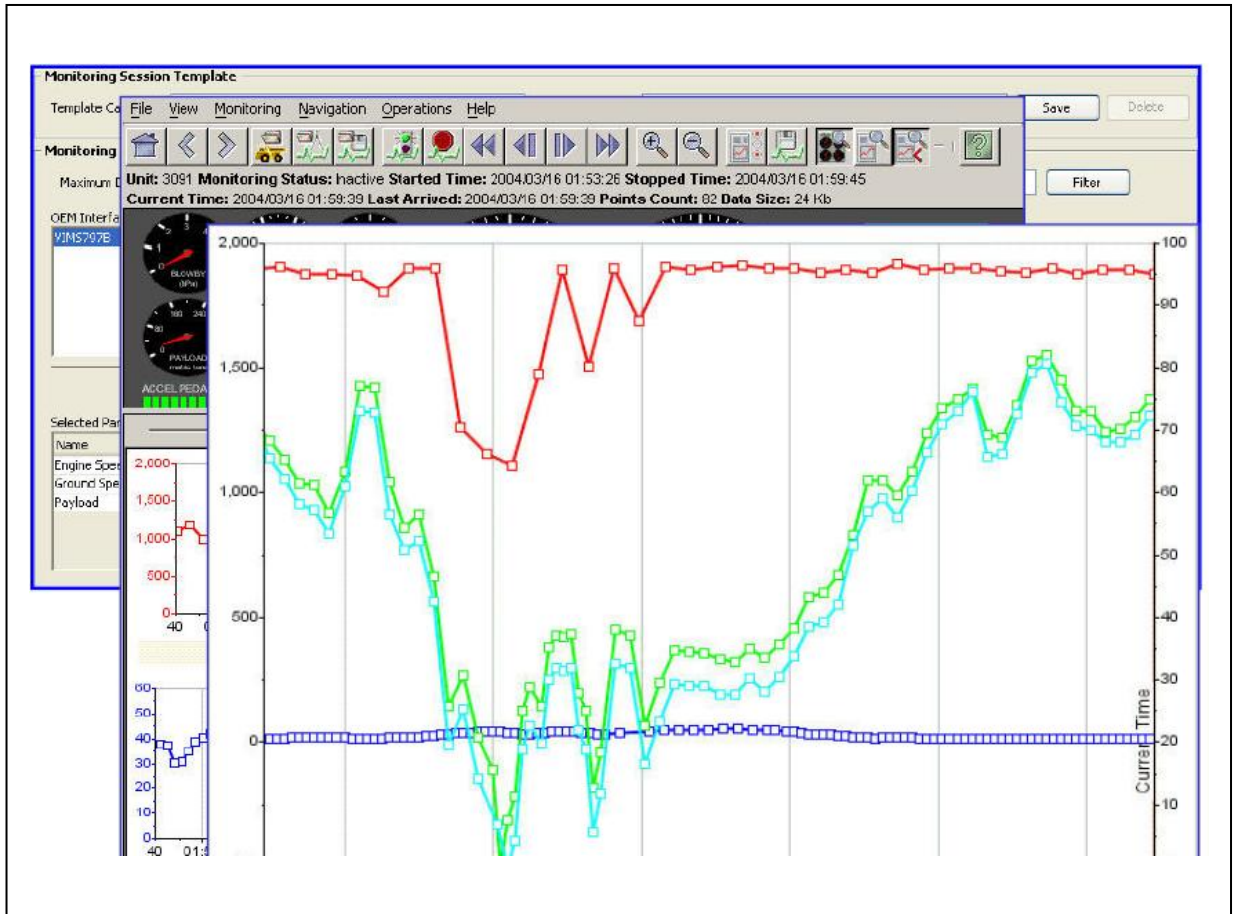
7.1. APLICACIÓN MONITOREO EN TIEMPO REAL

Un parámetro (variable continua en el tiempo) se designa en el sistema, como una variable de trabajo. Esta variable se puede medir ininterrumpidamente por medio de sensores instalados en la maquina, como el de temperatura, presión, nivel, rpm, etc.

La aplicación MTR (Monitoreo en Tiempo Real) está diseñada para capturar información en tiempo real desde dispositivos de interface OEM tales como: VIMS, CONTRONICS, HITACHI, VHMS, LINCS, entre otros.

La aplicación permite configurar sesiones de monitoreo, en las que se combinan diferentes variables de funcionamiento de acuerdo al síntoma a diagnosticar, se puede realizar seguimiento constante de la información, analizarla en línea y guardarla posteriormente para su historial. Ver figura 17.

Figura 40. Pantalla Monitoreo en Tiempo Real



Fuente: Modular Mining Systems. Foundational Awareness Training CJN. 2010

7.2. APLICACIÓN MANEJO DE EVENTOS

Un evento es la designación que da Minecare a las indicaciones de salud operativa que generan constantemente los equipos de minería, estos eventos son considerados un hecho significativo de mantenimiento y se conforman en códigos de falla ECM de cada fabricante de equipos. Para efectos de visualización y

priorización, Minecare tiene la capacidad de crear una jerarquía a la criticidad de estos eventos con el fin de clasificarlos para su atención. Ver figura 18.

Figura 41. Pantalla Manejo de Eventos

Tipo	Usuario	Estado	Unidad	Evento	Fuente de evento	Primer	Último	Snapshot	Contador d...	Último valor
Evento OEM		No se aceptó	Q04	Trouble monitoring oil temp. gear (PT...	System	29-nov-2010 01:44:...	29-nov-2010 02:43:...	<input type="checkbox"/>	7	0.0
Evento OEM		No se aceptó	022-800	Steering Filter Dirty or Switch Error	System	29-nov-2010 02:29:34	29-nov-2010 02:36:03	<input type="checkbox"/>	4	0.0
Evento OEM		No se aceptó	022-800	Steering Filter Dirty or Switch Error Inactive	System	29-nov-2010 02:33:19	29-nov-2010 02:35:04	<input type="checkbox"/>	3	0.0
Evento OEM		No se aceptó	022-800	Brake Pedal Pressed	System	29-nov-2010 02:33:56	29-nov-2010 02:39:20	<input type="checkbox"/>	10	0.0
Evento OEM		No se aceptó	022-800	Brake Pedal Off	System	29-nov-2010 02:33:58	29-nov-2010 02:39:24	<input type="checkbox"/>	10	0.0
Evento OEM		No se aceptó	022-800	Park Brake Off	System	29-nov-2010 02:33:57	29-nov-2010 02:33:57	<input type="checkbox"/>	1	0.0
Evento OEM		No se aceptó	022-800	Hydraulic Filter 1 Dirty or Switch Error	System	29-nov-2010 02:34:38	29-nov-2010 02:35:48	<input type="checkbox"/>	3	0.0
Evento OEM		No se aceptó	022-800	Hydraulic Filter 1 Dirty or Switch Error Inact...	System	29-nov-2010 02:34:43	29-nov-2010 02:36:02	<input checked="" type="checkbox"/>	3	0.0
Evento OEM		No se aceptó	022-800	Hydraulic Filter 2 Dirty or Switch Error	System	29-nov-2010 02:35:49	29-nov-2010 02:35:49	<input type="checkbox"/>	1	0.0
Evento OEM		No se aceptó	022-800	Hydraulic Filter 2 Dirty or Switch Error Inact...	System	29-nov-2010 02:35:57	29-nov-2010 02:35:57	<input type="checkbox"/>	1	0.0

Evento:	Trouble monitoring oil temp. gear (PTO 2)		Causa:	Localización de problemas:
Descripción:				
Nivel:	Evento no critico	Identificación de ti...:	369558366	
Mina:	Independiente	OEM ID / Interfaz:	G00083 - VHMS PC4000	
Unidad:	Q04	Fuente de evento:	System	
Usuario:		Snapshot:		
Último valor:	0.0			
Acción recomendada:		Efecto:		

Fuente: Modular Mining Systems. Foundational Awareness Training CJN. 2010

La aplicación manejo de eventos permite clasificar eventos según su criticidad, completar la información del evento, aplazarlos para ser tratados en una fecha posterior, entre otras funciones.

7.3. APLICACIÓN TENDENCIA

Una tendencia es una aplicación que permite ver el comportamiento de una variable en particular, entre otras variables relacionadas con esta, que se

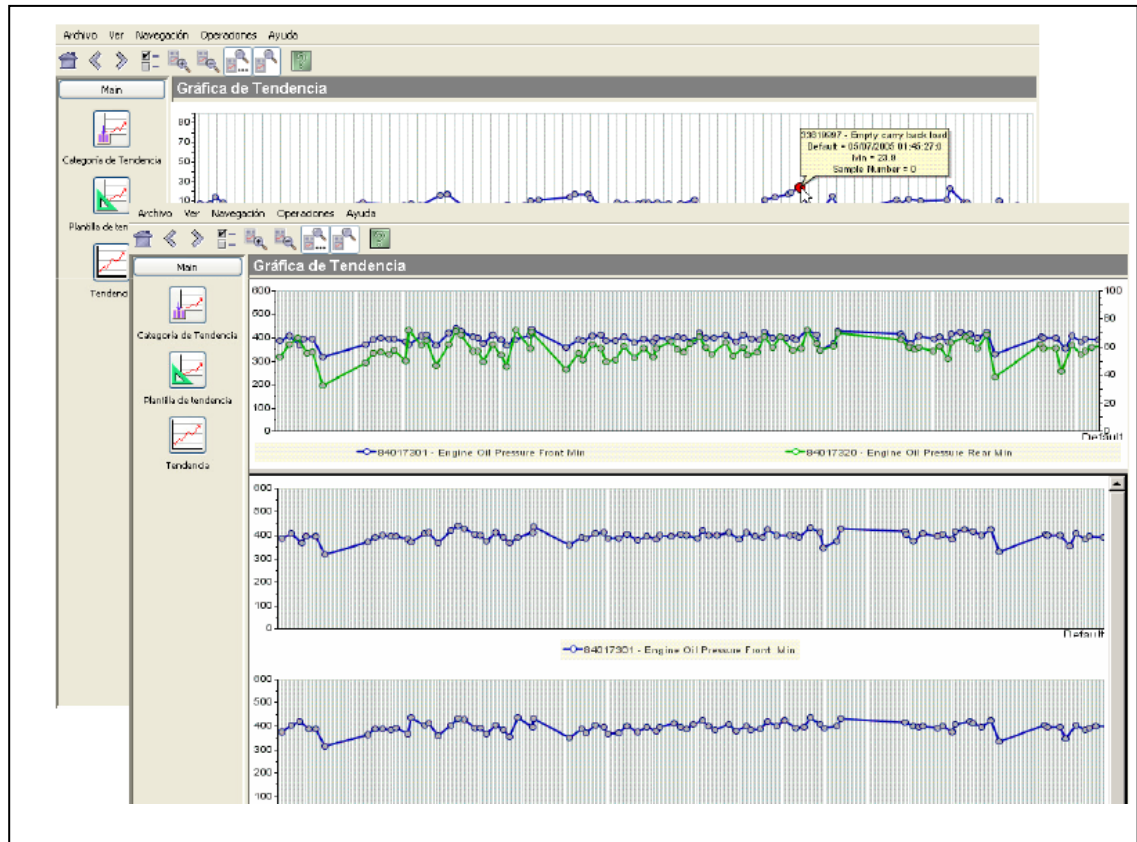
muestran bajo ciertas condiciones de operación y permite alertar cuando hay una circunstancia de trabajo anormal o fuera de rango que compromete el adecuado funcionamiento del motor o maquina. Ver figura 19.

Esta es una herramienta de recolección de información y análisis que ayuda a evaluar la condición de los componentes estudiados, como su nombre lo indica, muestra cuando un funcionamiento anormal tiende a disminuir o aumentar, permitiendo al usuario final mediante algunas acciones, identificar con un determinado tiempo de antelación la falla de un componente, programando tareas proactivas al respecto y previniendo daños catastróficos.

Esta aplicación puede iniciar acciones como las siguientes:

- Generar una alarma
- Iniciar otra recopilación de información y su análisis con los mismos criterios o con otros
- Suspender la tendencia

Figura 42. Pantalla Aplicación Tendencia



Fuente: Modular Mining Systems. Foundational Awareness Training CJN. 2010

7.4. APLICACIÓN SEGUIMIENTO DE TIEMPO

Esta aplicación rastrea el estado de los equipos conectados al sistema y provee información en tiempo real sobre todas las actividades de mantenimiento relacionadas.

Por medio de actividades y listas de actividades en tiempo real sobre equipos, el sistema proporciona al usuario una vista rápida de todas las unidades que se

encuentran en tiempos down y tiempo up, demora, reserva, tareas pendientes de realizar programadas y no programadas, incluye información de su ubicación geográfica, operador, entre otras.

Adicionalmente, posee un completo modulo en el cual podemos ingresar información relacionada con las fallas de las maquinas, que permita llevar a cabo análisis RCA y FMECA. Ver figura 20.

Figura 43. Pantalla Aplicación Seguimiento de Tiempo real

Realtime Equipment								
Category: All		Group: All		Model: All		Fleet: All		
Maintenance Domain Equipment								
Name	Model	Read Time	Down Time	Duration	Reason	Status	Location	
120	BUC2570W	11-Jun-2007 10:13:30	Unknown		BOOM/MAST/A FRAME	Down	NORTH MIDDLE	
261	CAT793A - Coal	11-Jun-2007 10:13:30	Unknown		PCR	Down	NA SHOP ENTER	
263	CAT793B - OB	11-Jun-2007 10:13:30	Unknown		STEERING	Down	4740 WRAMP	
283	CAT793A - Coal	11-Jun-2007 10:13:31	Unknown		FRAME	Down	NA SHOP ENTER	
217	CAT793B - OB	11-Jun-2007 10:22:03	Unknown		TRANSMISSION	Down	NA SHOP ENTER	
219	CAT793B - OB	11-Jun-2007 10:22:29	Unknown		FRAME	Down	NA SHOP ENTER	
226	CAT793C - OB	11-Jun-2007 10:24:14	Unknown		A/C	Down	NA SHOP ENTER	
270	CAT793B - OB	11-Jun-2007 10:13:30	Unknown		PM	Down	NA SHOP ENTER	
271	CAT793B - OB	11-Jun-2007 10:13:30	Unknown		PM	Down	ENTER OLD HPR. 2	
NonMaintenance Domain Equipment								
Name	Model	Read Time	Reason	Status	Operator	Material Type	Location	
103	PHM4100A - OB	11-Jun-2007 10:23:54	PRODUCTION	Ready	Gores Jake	OB Suitable	NWS5411	
105	PHM4100 - OB	11-Jun-2007 10:22:24	PRODUCTION	Ready	Stevens Jason	Parting	RNS22115307	
106	PHM4100A - OB	11-Jun-2007 10:23:52	PRODUCTION	Ready	Shideler Ryan	OB Suitable	NWS5413	
107	PHM4100A - OB	11-Jun-2007 10:24:04	PRODUCTION	Ready	Eason Rusty	OB Suitable	NB5231	
108	PHM4100A - OB	11-Jun-2007 10:24:44	PRODUCTION	Ready	Wetz Gregory	OB Suitable	RES19115423	
109	PHM4100XPB - OB	11-Jun-2007 10:19:28	PRODUCTION	Ready	Ellsbury Sean	OB Suitable	NES401-OB5	
104	PHM4100 - Coal	11-Jun-2007 10:23:53	PRODUCTION	Ready	Parks Martin	Coal	REU19115367	
152	PHM2800XPA - Coal	11-Jun-2007 10:19:38	PRODUCTION	Ready	Hunt Brett	Coal	EWF17115450	
156	PHM4100LR - Coal	11-Jun-2007 10:19:38	PRODUCTION	Ready		Coal	NMF331	

Fuente: Modular Mining Systems. Foundational Awareness Training CJN. 2010

8. INTERFACE VHMS

Dada la naturaleza del sistema Minecare, se debe definir que una interface es el protocolo de comunicación entre un computador externo y el sistema de diagnóstico automotriz a bordo, que provee los datos de monitoreo y la información disponible de varios subsistemas que permiten realizar diagnósticos de fallas.

La interface que poseen las palas Komatsu PC4000 es la Vehicle Health Management Systems (VHMS), desarrollo propiedad de su fabricante. Este es un sistema electrónico de monitoreo a bordo con descarga de datos off-board.

Los siguientes eventos y parámetros de monitoreo, son compatibles con el sistema Minecare, cabe anotar que se muestran clasificados de acuerdo al sistema que pertenecen:

Tabla 3. Eventos y Parámetros de Monitoreo Tanque Aceite Hidráulico PC4000

	Evento	Parámetro
SISTEMA HIDRAULICO	Low hydraulic oil level	Hydraulic Oil Temperature(PC4000)
	Trouble hydraulic oil level	Hydraulic Oil Tank Level(PC4000)
	Very low hydraulic oil level	
	Trouble hydraulic oil temperature (G00246)	
	Trouble hydraulic oil temperature (G00066)	

Fuente: Autores 2012

Tabla 4. Eventos y Parámetros de Monitoreo Caja de transmisión (PTO)

SISTEMA TRANSMISION (PTO)	Evento	Parámetro
	Trouble oil temperature gear (PTO 1) (G00070)	Transmission Oil Temp(PC4000)
	Trouble gear lubrication (PTO 1) (G00071)	

Fuente: Autores 2012

Tabla 5. Eventos y Parámetros de Monitoreo Sistema Lubricación Central (CLS)

SISTEMA LUBRICACION CENTRAL	Evento	Parámetro
	Central lubrication system grease level too low (G000??)	CLS1 Grease Level (PC4000)
	Trouble lubrication system (G000??)	Lubrication Cycle Counter CLS1
	Central lubrication system empty (G000??)	
	Trouble central lubrication system (G000??)	
	Trouble central lubrication system (G000??)	

Fuente: Autores 2012

Tabla 6. Eventos y Parámetros de Monitoreo Sistema Lubricación Corona de Giro
(SLS)

SISTEMA LUBRICACION CORONA GIRO	Evento	Parámetro
	Slew gear lubrication system grease level too low (G000??)	SLS Grease Level (PC4000)
	Slew gear lubrication system empty (G000??)	Lubrication Cycle Counter SLS
	Trouble slew gear lubrication system (G000??)	
	Trouble slew gear lubrication system (G000??)	

Fuente: Autores 2012

Tabla 7. Eventos y Parámetros de Monitoreo Sistema Motor

MOTOR				
SubSistema Gases Escape	SubSistema Combustible	SubSistema Admisión aire	SubSistema Aceite	SubSistema Refrigerante
Evento	Evento	Evento	Evento	Evento
High exhaust temp. - left bank #1	Timing fueling flow mismatch	High intake temp. - left bank front	Low engine oil pressure	High coolant temp.
High exhaust temp. - left bank #2	Rail pressure sensor circuit failed high	High intake temp. - left bank rear	High engine oil temp.	Low coolant pressure
High exhaust temp. - left bank #3	Rail pressure sensor circuit failed low	High intake temp. - right bank front	Low engine oil level	Parámetros
High exhaust temp. - left bank #4	High fuel temp.	High intake temp. - right bank rear	High blowby pressure	Engine Coolant Level (PC4000)
High exhaust temp. - left bank #5	Rail pressure sensor circuit failed high	Rapid rise in left bank front intake temp.	High lubricating oil filter restriction	CM Coolant Temperature(PC4000)
High exhaust temp. - left bank #6	Rail pressure sensor circuit failed low	Rapid rise in left bank rear intake temp.	Parámetros	
High exhaust temp. - left bank #7	Fuel control valve failed high	Rapid rise in right bank front intake temp.	CM Oil Temperature(PC4000)	
High exhaust temp. - left bank #8	Rail actuator mechanically stuck	Rapid rise in right bank rear intake temp.	Engine Oil Level(PC4000)	
High exhaust temp. - right bank #1	Fuel rail pressure sensor circuit failed in range	LB Boost Ckt Failed High		
High exhaust temp. - right bank #2	Rail Press OOR High	LB Boost Ckt Failed Low		
High exhaust temp. - right bank #3	Fuel shutoff valve mechanically stuck open	Parámetros		
High exhaust temp. - right bank #4	Parámetro	Air Intake Manifold Temperature(PC4000)		
High exhaust temp. - right bank #5	Fuel Level (PC4000)	Ambient Temperature(PC4000)		
High exhaust temp. - right bank #6	CM Fuel Temperature(PC4000)			
High exhaust temp. - right bank #7				
High exhaust temp. - right bank #8				

Fuente: Autores 2012

8.1. MINECARE Y RCM

Como se vio en los capítulos iniciales, el RCM es una metodología que permite reducir las consecuencias de las fallas que se puedan presentar en un equipo por medio de la inspección de componentes programada predictiva, preventiva o corrida a la falla. Algunas requieren el uso de aparatos modernos de medición y otras no, pero todas conducen a definir unas rutinas de mantenimiento y sus responsables.

Este sistema de monitoreo en línea, es una herramienta fundamental en la detección de fallas incipientes. Una de sus ventajas competitivas se inclina hacia el aporte permanente de información de efectos de fallas que al ser cruzadas con las otras preguntas del programa RCM aplicado en la flota, nos ayuda a notar mejor las consecuencias y escoger la alternativa más oportuna de monitoreo sobre un parámetro de interés; y en el RCM, se define efecto de falla como aquel que describe lo que pasa cuando ocurre un modo de falla.

Por lo tanto, Minecare y la metodología RCM encuentran un punto en común: los efectos de los modos de falla, estos están determinados por todos los eventos OEM y de Tendencia que fueron mencionados anteriormente; con un tratamiento estadístico básico de estos registros, se pueden observar comportamientos de aumento-decremento de los síntomas de los problemas en los equipos tal como se muestra en el ejemplo que se presenta a continuación:

El día 6 de Agosto se inicio el registro de eventos llamados “ALTA TEMPERATURA DE ACEITE TRANSMISION PTO1”, en la pala Q04, estos se presentan cuando la temperatura del aceite de transmisión es mayor a 85°C (Ver figura Xy). Posteriormente, por medio de la aplicación monitoreo en tiempo real se valida que la condición mencionada era verdadera y no que pertenecía a un problema de naturaleza eléctrica por causa de un sensor (Ver figura xz).

Figura Xy. Entrada de eventos “Alta temperatura de aceite PTO” a la aplicación.

Figura xz. Validación por monitoreo en línea de Alta temperatura aceite PTO.

Se procedió entonces a verificar si el problema era puntual o si tenía historial de evolución, esto se hizo consultando la base de datos del sistema. El resultado es presentado en la tabla 8 y concierne a datos almacenados en el periodo de tiempo comprendido entre Agosto 1 y Agosto 6.

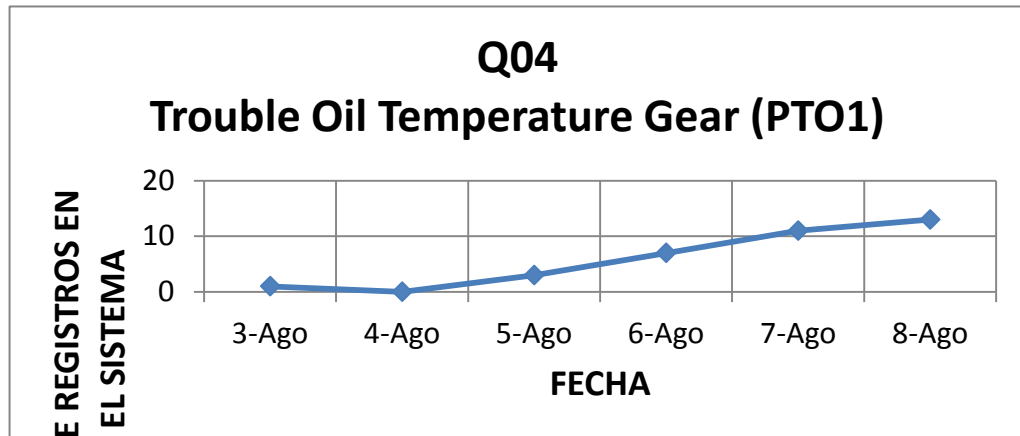
Tabla 8. Acumulación de registros de Alta Temperatura de Aceite PTO en pala Q04.

EQUIPO : PALA Q04							
EVENTO	1-Aug	2-Aug	3-Aug	4-Aug	5-Aug	6-Aug	Total general
Trouble Oil Temperature Gear (PTO1)	1	0	3	7	11	13	35

Fuente: Autores. 2012

Efectivamente con la grafica realizada con base en esta información (ver figura 22) se observa la tendencia al aumento de este funcionamiento anómalo.

Figura 44. Evolución problema alta temperatura de aceite PTO.



Fuente: Autores. 2012

Continuando con el análisis, y de acuerdo al ejercicio RCMII planteado para la pala, hay varias fallas funcionales y modos de falla asociados a los efectos que se registran en el sistema Minecare para este problema en particular, estos son mostrados en las tablas 11 y 12 respectivamente.

En el relato de los efectos se puede identificar claramente un común denominador, este es la alta probabilidad de daño del PTO de hacerse caso omiso a la alarma visual por parte del operador, no tener el sensor de temperatura de aceite en condición estándar o no lograr una identificación correcta de la causa de la alta temperatura del aceite. A una avería cuyas consecuencias son

cuantificadas como de alto costo se les denomino Fallas Catastróficas. Minecare brinda apoyo con información oportuna, que canalizada por acciones proactivas contribuyen a reducir el impacto de estas anomalías.

De manera conjunta con Cerrejón, se determino que para prevenir de manera eficaz los eventos donde se pudiera incurrir en fallas catastróficas, se debía asignar a estos, niveles de criticidad, focalizando y asignando recursos de atención con prioridades, lo que permite programar a corto y mediano plazo, pero también atender equipos de manera inmediata. Por lo tanto, cuando se registre un evento prioridad 0 (P0) se deberá detener la máquina de inmediato para ser atendida.

En la tabla 9 se exponen estos niveles.

Tabla 9. Niveles de prioridad y criticidad Eventos Sistema Minecare.

Nombre Prioridad	Nivel	Descripción	Intervención	Comentario
P0	Critica	Falla funcional inminente, se supera límites permisibles.	Debe detenerse inmediatamente el equipo	Solo Eventos Minecare
P1	Urgente	Falla funcional puede evitarse, se supera límites permisibles.	Programar intervención en la ventana de programación	
P2	Prioritaria	Falla potencial evidente, aumentar frecuencia de monitoreo	Programar intervención a mas tardar próxima ventana	
P3	Rutinaria	Falla aun no alcanza límite inferior permisible.	Programar intervención próximo PM	

Fuente: Superintendencia de Planeacion, Programación y análisis: Cerrejon.2012

Tabla 10. Hoja de Información RCM II para PC4000-6

HOJA DE INFORMACION RCMII – MANTENIMIENTO PALAS HIDRAULICAS						
HOJA DE INFORMACION RCMII		EQUIPO		Realizado por	Analista Confiability	Fecha inicial
		PALA KOMATSU PC 4000 6				Fecha inicial
		SISTEMA		Revisado por	Planeacion	Fecha inicial
		TRANSMISION				Fecha inicial
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA (CAUSA DE LA FALLA)	EFECTOS DE LAS FALLAS (QUE SUCEDE CUANDO FALLO)	
1	Transmitir movimiento a las bombas a 51471 lb pie a XX RPM a las todas las bombas	A	No transmitir movimiento a las bombas a 51471 lb pie a XX RPM a las todas las bombas	1	PTO dañado por alto de nivel de aceite.	El volumen de aceite del PTO se incrementa, aumenta la temperatura del aceite, disminuye la viscosidad, aumenta el desgaste de los piñones y rodamientos del PTO. Hay ruido, el PTO se daña internamente y no hay transmisión de movimiento rotacional a las bombas. Si se hace caso omiso a esta señal el PTO se daña.
				2	Respiradero del PTO obstruido por suciedad	El vapor de aceite generado en el PTO no sale al exterior, aumenta la temperatura del aceite, disminuye la viscosidad, aumenta el desgaste de los piñones y rodamientos del PTO. Hay ruido, el PTO se daña internamente y no hay transmisión de movimiento rotacional a las bombas. Si se hace caso omiso a esta señal el PTO se daña.
2	Mantener la temperatura del aceite del PTO entre 60 a 75 C	A	Mantiene la temperatura del aceite del PTO mayor a 75 C	1	Sistema de los ventiladores hidráulicos dañada	Uno de los motores no le transmite movimiento a uno de los ventiladores. Con las RPM entregadas por el otro ventilador a los enfriadores no se logra el enfriamiento requerido por el aceite porque dos enfriadores dejan de trabajar. La temperatura del aceite hidráulico incrementa y cuando llega a 85 C se activa una señal visual roja en la pantalla VHMS, se bloquea el movimiento del cucharón. La pala es detenida.
				2	Bomba de lubricación del PTO desgastada	Envía menos aceite para el sistema de enfriamiento y lubricación al PTO, la temperatura del aceite del PTO se incrementa y cuando llega a 95 C se activa la señal visual amarilla en la pantalla VHMS, disminuye la viscosidad del aceite, aumentando el deterioro de los rodamientos y piñones del PTO. La maquina es detenida.
				3	Válvula limitadora servo pilotada del PTO dañada abierta al PTO	El aceite del PTO pasa directamente al PTO, y la cantidad de aceite requerida no ingresa al los enfriadores, la temperatura del aceite del PTO se incrementa y cuando llega a 95 C se activa la señal visual amarilla en la pantalla VHMS, disminuye la viscosidad del aceite, aumentando el deterioro de los rodamientos y piñones del PTO. La maquina es detenida.

				4	Válvula limitadora servo pilotada del PTO descalabrada por debajo de 10 bar	El aceite del PTO pasa directamente al PTO, y la cantidad de aceite requerida no ingresa al los enfriadores, la temperatura del aceite del PTO se incrementa y cuando llega a 95 C se activa la señal visual amarilla en la pantalla VHMS, disminuye la viscosidad del aceite, aumentando el deterioro de los rodamientos y piñones del PTO. La maquina es detenida.
				5	Electroválvulas Y53-1 pegada mecánicamente en posición de trabajo	El aceite del PTO pasa directamente al PTO, y la cantidad de aceite requerida no ingresa al los enfriadores, la temperatura del aceite del PTO se incrementa y cuando llega a 95 C se activa la señal visual amarilla en la pantalla VHMS, disminuye la viscosidad del aceite, aumentando el deterioro de los rodamientos y piñones del PTO. La maquina es detenida.
				6	Enfriador del PTO obstruido internamente por suciedad	Circula menos flujo de aceite en los enfriadores del PTO, la mayor parte del aceite es retornado al PTO por la válvula limitadora servo pilotada. La temperatura del aceite del PTO se incrementa y cuando llega a 95 C se activa la señal visual amarilla en la pantalla VHMS, disminuye la viscosidad del aceite, aumentando el deterioro de los rodamientos y piñones del PTO. La maquina es detenida.
				7	Enfriador del PTO sucio por externamente por contaminación de aceite, polvo y tierra.	La capacidad de aire que debe fluir a través del enfriador disminuye la eficiencia del intercambio de calor de los enfriadores. La temperatura del aceite del PTO se incrementa y cuando llega a 95 C se activa la señal visual amarilla en la pantalla VHMS, disminuye la viscosidad del aceite, aumentando el deterioro de los rodamientos y piñones del PTO. La maquina es detenida.
				8	Toberas de aspersión de lubricación del PTO obstruidas por suciedad.	Disminuye la cantidad de aceite lanzado sobre los dientes de los piñones del PTO, incrementa el desgaste de los piñones del PTO. La temperatura del aceite del PTO se incrementa y cuando llega a 95 C se activa la señal visual amarilla en la pantalla VHMS, disminuye la viscosidad del aceite, aumentando el deterioro de los rodamientos y piñones del PTO. La maquina es detenida.
				9	Toberas de aspersión de lubricación del PTO partidas golpe	Disminuye la cantidad de aceite lanzado sobre los dientes de los piñones del PTO, incrementa el desgaste de los piñones del PTO. La temperatura del aceite del PTO se incrementa y cuando llega a 95 C se activa la señal visual amarilla en la pantalla VHMS, disminuye la viscosidad del aceite, aumentando el deterioro de los rodamientos y piñones del PTO. La maquina es detenida.

3	Emitir una señal visual y sonora en la pantalla VHMS, cuando la temperatura del aceite de lubricación de la caja del PTO es mayor a 95 C.	A	No emite una señal visual y sonora en la pantalla VHMS, cuando la temperatura del aceite de lubricación de la caja del PTO es mayor a 95 C.	1	Sensor de temperatura del PTO B 49-1 dañado	Emite código de falla de "sensor o cable defectuoso de temperatura aceite PTO" en la pantalla VHMS, en caso de que se incremente la temperatura del aceite del PTO y llegue a 95 C realmente, no se activa la señal visual amarilla, la temperatura continua incrementando y la viscosidad disminuye aumentando el desgaste de los componentes del PTO impidiendo la correcta lubricación de las partes. El PTO se daña, la pala es detenida.
---	---	---	---	---	---	---

Fuente: Analista Confiabilidad. Cerrejón. 2012

Teniendo en consideración, tanto el análisis RCM de la flota como esta asignación de prioridades, se agruparon los eventos de los cuales son mostrados algunos en la tabla 10 que corresponden a prioridad 0.

Tabla 11. Tabla de asignación de prioridades 0

EVENTOS PRIORIDAD 0	
Sistema	Evento Minecare- Efecto
MOTOR	Low engine oil pressure
	High coolant temp.
	Low engine oil level
	High lubricating oil filter restriction
	High blowby pressure
HIDRAULICO	Very low hydraulic oil level
	Trouble return oil filter hydraulic oil tank
TRANSMISION (PTO)	Trouble oil temperature gear (PTO 1)
	Trouble gear lubrication (PTO 1)
	Alta temperatura aceite PTO (Tendencia)
LUBRICACION CENTRAL	Trouble lubrication system
	Trouble central lubrication system
	Trouble central lubrication system
LUBRICACION CORONA DE GIRO	Trouble slew gear lubrication system
	Trouble slew gear lubrication system

Fuente: Autores.2012

Como resultado de la identificación, clasificación, agrupación, priorización y atención de eventos, se generan ahorros relacionados con la oportunidad de prevenir fallas que si no se hubieran atendido causarían problemas y sobrecostos mayores por motivo de tiempos Down, repuestos, horas hombre, entre otros, tema que se tratara a continuación.

Teniendo en consideración, tanto el análisis RCM de la flota como esta asignación de prioridades, se agruparon los eventos de los cuales son mostrados algunos en la tabla 10 que corresponden a prioridad 0.

EVENTOS PRIORIDAD 0	
Sistema	Evento Minecare- Efecto
MOTOR	Low engine oil pressure
	High coolant temp.
	Low engine oil level
	High lubricating oil filter restriction
	High blowby pressure
HIDRAULICO	Very low hydraulic oil level
	Trouble return oil filter hydraulic oil tank
TRANSMISION (PTO)	Trouble oil temperature gear (PTO 1)
	Trouble gear lubrication (PTO 1)
	Alta temperatura aceite PTO (Tendencia)
LUBRICACION CENTRAL	Trouble lubrication system
	Trouble central lubrication system
	Trouble central lubrication system
LUBRICACION CORONA DE GIRO	Trouble slew gear lubrication system
	Trouble slew gear lubrication system

Fuente: Autores.2012

9. EVALUACIÓN FINANCIERA DEL SISTEMA MINECARE EN LA FLOTA PC4000

Anteriormente fueron mencionadas las características técnicas que posee el sistema Minecare y que favorecen una gestión de mantenimiento con acciones proactivas. En la medida en que estas acciones sean ejecutadas efectivamente, se obtendrá ahorro de costos dado que los recursos estarán más enfocados a planear y ejecutar lo programado, disminuyendo la atención de imprevistos aleatorios que afecten la integridad de los equipos, y su disponibilidad para la operación minera.

En primera instancia, se requiere establecer y unificar la metodología para cuantificación de ahorros. Esta ecuación debe contemplar tanto los beneficios más relevantes que trae para la compañía el aplicar este tipo de tecnología como la probabilidad de que ocurran las fallas que se desean prevenir, de esta manera se obtendrán ahorros razonables y acordes a la realidad evitando caer en sobreestimaciones.

Posteriormente, se realizará un análisis financiero basado en dos indicadores que son el ROI y el análisis Costo-Riesgo que brindara argumentos de decisión sobre

la oportunidad de adquirir definitivamente o continuar bajo el esquema de arriendo del sistema Minecare.

9.1. CLASIFICACIÓN DE BENEFICIOS SISTEMA DE MONITOREO EN LÍNEA MINECARE

La mayoría de técnicas predictivas de mantenimiento son invasivas, esto es, requieren hacer inspecciones periódicas sobre el equipo detenido con una frecuencia determinada, con el fin de anticiparse a una falla, lo que trae consigo tomar tiempo de la operación que se traduce en pérdidas de productividad. El sistema de monitoreo en línea Minecare no solo toma esta información de manera remota, con el equipo trabajando, si no que lo hace muestreando segundo a segundo el valor de los parámetros de interés para nuestros análisis, lo que constituye prácticamente una capacidad de muestreo infinito. Esta ventaja tecnológica trae consigo algunos beneficios entre los que se listan a continuación:

Estandarización de beneficios

- Reducción de horas hombre y tiempo Down requerido para las tareas durante Mantenimiento Preventivo, ya que se identifica el problema remotamente mientras el equipo está trabajando, generando un diagnostico más rápido.
- Disminuye las fallas catastróficas de componentes mayores de un equipo, dado que se detectan las fallas incipientes.

- Descarga remota de eventos, reduciendo el tiempo de labor y operación requerido para esta tarea.
- Identificación de malos hábitos operativos, por medio del seguimiento en el tiempo de eventos en los que el operador incurre en equivocaciones.
- Evaluación postintervención cambio cíclico de componentes, al determinar el estado antes y después del cambio.
- Apoyo al proceso de análisis de fallas, con el almacenamiento de información importante antes y después de un evento donde el componente falle por completo.

Todos estos aspectos traen como beneficio general el aumento de la disponibilidad y confiabilidad de las maquinas. Sin embargo, los beneficios más tangibles del sistema están asociados a detectar, y prevenir el avance de fallas que tengan consecuencia catastrófica para los equipos, lo que significan ahorros en costos de mantenimiento y de tiempo Down.

9.2. MÉTODO DE ESTIMACIÓN DE BENEFICIOS

Para justificar económicamente la herramienta predictiva, se propone recurrir al concepto de evaluación Costo-Riesgo. Este arrojará el valor estimado de atender

una falla para compararlo con el valor que implica dejar correr a la falla ese componente.

Para deducir este costo, se utiliza la siguiente ecuación:

Riesgo = Costo de la falla X Probabilidad de falla (5) , donde:

- Costo de la falla: reúne los costos relacionados con el costo del repuesto, mano de obra y lucro cesante.

9.2.1. Materiales (Repuestos y Suministros). Es el concepto que cubre todos los costos de insumos materiales utilizados en la ejecución normal de mantenimiento. Igualmente, este costo esta directamente ligado al tamaño de la reparación, una falla grave e intempestiva requiere de más materiales para su reparación que atenderla preventivamente en un PM o en una parada programada. Estos costos incluyen repuestos, partes, lubricantes, herramientas o insumos en general²⁷ y por lo tanto varían de acuerdo al evento Minecare a atender, por lo que los costos genéricos podrían nombrarse como:

- Cambio de componentes (Válvulas, mangueras, Componentes, Motor, bombas hidráulicas, Repuestos en general)

²⁷Mora Gutiérrez, Luis Alberto; Arango Restrepo María Rocío. Auditoria-costos y nivel de mantenimiento en una organización. Revista Universidad EAFIT #80.

- Reposición de materiales(completar nivel de aceite, refrigerante, grasa, etc)
- Alquiler de equipos (camión canasta, grúa)

9.2.2. Mano de obra directa. Tiene que ver con el costo del factor productivo, es decir el valor del recurso humano o personal destinado a atender la tarea de mantenimiento, este puede ser propio o tercerizado. Se cuantifica como \$/ hr y se multiplica por el numero de personas que realizan la labor.

9.2.3. Costo indirecto de mantenimiento (lucro cesante). Se ubica en este ítem, los costos que no tienen que ver con mantenimiento pero que se generan como consecuencia de la labor, para nuestro caso, la producción de material carbón/estéril que las retroexcavadoras dejaron de extraer durante el tiempo que duro la reparación, este valor estará dado en dinero/hora..

9.2.4. Probabilidad de falla: la medida de la confiabilidad de un equipo es la frecuencia con la cual ocurren las fallas en el tiempo. Si no hay fallas el equipo es 100% confiable, si la frecuencia de fallas es muy baja, la confiabilidad del equipo es aun aceptable, pero si es muy alta, el equipo es poco confiable. Las mediciones de confiabilidad se hacen en términos de probabilidad, la cual se define en forma clásica, como el resultado de dividir el numero de veces de los casos estudiados (intentos o eventos favorables o no) entre el numero total posible de casos (intentos o eventos); en la medida en que la cantidad de intentos o casos posibles

sea mayor, la probabilidad se vuelve más exacta y cercana al valor real. Por ejemplo, la probabilidad de un desempeño eficaz durante 80 horas de 0.75 (75%), indica que el equipo funciona satisfactoriamente 75 veces de cada 100 ensayos, durante al menos 80 horas²⁸.

Dado que el sistema Minecare detecta síntomas para varios modos de falla, se aplico el método Crow – Amsaa como técnica de estimación de pronósticos de probabilidad de falla y relacionarlos con los eventos Minecare para cuantificar beneficios.

De acuerdo a lo anterior, existen varios enfoques para realizar la justificación económica de una técnica predictiva, de estas, los 2 más utilizados son los siguientes:

- **Enfoque 1**

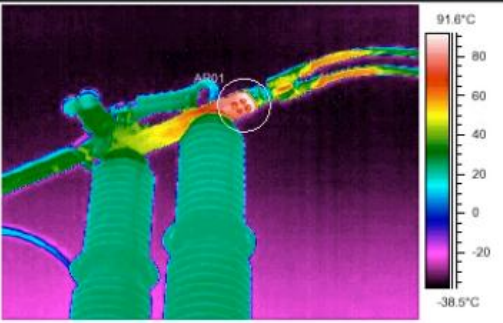
Análisis Costo-Riesgo. Este método es ampliamente utilizado y se basa en el de 3 posibles escenarios de falla, cada uno con consecuencias más graves que el anterior (rutinario, moderado y catastrófico), finalmente se suma el valor de ahorro arrojado por cada escenario y este es el total de beneficio obtenido. A continuación se muestra la ventana típica de un software utilizado para estimar ahorros.

²⁸ MORA GUTIERRÉZ, Alberto. Mantenimiento-Planeacion, ejecución y control. México. Alfa y Omega. 2010.

Figura 45. Software para cuantificación de ahorros

CBA Incident Report Net Savings for Incident: **\$165,467.50**

Incident Number (Auto):
 Industry:
 Occurrence Date:
 Equipment ID:
 Description:
 Date of Analysis:



Component

Catastrophic	Moderate	Minor	Actual
Value of Lost Production: <input type="text" value="\$200,000.00"/>	Value of Lost Production: <input type="text" value="\$50,000.00"/>	Value of Lost Production: <input type="text" value="\$0.00"/>	Value of Lost Production: <input type="text" value="\$0.00"/>
Parts Cost: <input type="text" value="\$10,000.00"/>	Parts Cost: <input type="text" value="\$4,000.00"/>	Parts Cost: <input type="text" value="\$1,500.00"/>	Parts Cost: <input type="text" value="\$1,000.00"/>
Labor Cost: <input type="text" value="\$1,400.00"/>	Labor Cost: <input type="text" value="\$1,050.00"/>	Labor Cost: <input type="text" value="\$700.00"/>	Labor Cost: <input type="text" value="\$560.00"/>
Probability of Occurrence: <input type="text" value="75.00%"/>	Probability of Occurrence: <input type="text" value="15.00%"/>	Probability of Occurrence: <input type="text" value="10.00%"/>	
Actual Cost of Repair: <input type="text" value="\$1,560.00"/>	Net Savings for Incident: <input type="text" value="\$165,467.50"/>		

Record: of 129
 Form View NUM

Fuente: Disponible en internet: <http://www.mrgcorp.com>

La desventaja de utilizar este enfoque, se basa en que si las fallas atendidas tienen consecuencias leves o moderadas, generarían un ahorro igual que si se hubiera presentado una falla catastrófica, por lo que el valor final estimado sería una cifra muy superior a la realidad.

- **Enfoque 2**

Esta alternativa es más usada que la anterior puesto que los valores se ponderan de acuerdo a su nivel de criticidad individual y no grupal, encontrando unos beneficios más ajustados a la realidad. Es por esta razón que se propone en esta monografía y se describe a continuación dicho enfoque con el objetivo de cuantificar las acciones proactivas que se inicien desde el sistema Minecare.

- **Prioridad:** se toman inicialmente los eventos que se registran en Minecare y se clasifican como prioridad 0, 1, 2 y 3 de acuerdo a su criticidad, tal como fue descrito anteriormente.
- **Costo de Mano de Obra:** se establece el valor monetario para los conceptos a utilizar en la ecuación 1, estos son:
Costo Mano de Obra/ hr: USD\$22.15/hr para el 2011 y USD\$ 22/hr para el 2012
- **Lucro cesante:** se establece el valor monetario del lucro cesante, esto es, el dinero que se deja de producir la pala por estar en estado Down, para las retroexcavadoras PC4000 equivalente a: USD\$ 192.5/hr.

- **Costos materiales y repuestos:** para cada evento de Minecare se determinan que materiales y repuestos se requieren para atender los eventos que se registran en el sistema, cada evento tiene un estimado independiente y acorde a su naturaleza.
- **Creación Trabajo estándar:** se procede a asignar un código denominado Trabajo Estandar (Stándar Job). Este código lleva relacionado un procedimiento de atención a dicho evento, con materiales, tiempo Down estimado, horas hombre y un valor monetario de ahorro que está relacionado con los costos de la falla, aun sin tener en cuenta la probabilidad de falla, observar la tabla siguiente:

Tabla 12. Formato creación de Trabajo Estandar

Nombre de Evento	Estandar	Prioridad	Horas Down	Labor [us\$]	Materiales [us\$]	Lucro Cesante [us\$]	Costo Evitable [us\$]
Test speed 1800 rpm engine 1	K4G002	P02	3	96.96	200	450	746.96
Trouble pump controller	K4G003	P01	6	193.92	2500	900	3593.92
Trouble HPF 1/Chip 1	K4G008	P03	6	193.92	100	900	1193.92
Trouble oil temperature gear (PTO 1)	K4G070	P0	36	1163.52	250000	5400	256563.52

Fuente: Analista de Confiabilidad Retroexcavadoras PC4000.

- **Creación solicitud de trabajo:** luego de establecer por medio de la utilización adecuada de las 4 aplicaciones del sistema Minecare que en un

equipo se está presentando una falla , se crea una solicitud de trabajo que tendrá asociado un “Trabajo Estandar y un código de asignación o “Work Request ID” con el cual se programará su atención.

Tabla 13. WR creadas analista sistema Minecare

Work Request ID	Fecha	Sintoma	Prioridad	Std Job	Equipo
74389	1/16/2012	Probl. Sistema Lubricacion Central	P0	K4G185	Q01
75077	1/20/2012	Probl. Sistema Lubricacion Central	P0	K4G185	Q01
77911	2/9/2012	Probl. Sistema Lubricacion Central	P0	K4G185	Q01
78043	2/10/2012	Probl. Sistema Lubricacion Central	P0	K4G185	Q01
78441	2/13/2012	Probl. Sistema Lubricacion Central	P0	K4G185	Q01
83215	3/15/2012	Probl. Sistema Lubricacion Central	P0	K4G185	Q01
85716	4/3/2012	Probl. Sistema Lubricacion Central	P0	K4G185	Q01
87823	4/17/2012	Probl. Sistema Lubricacion Central	P0	K4G185	Q01
87925	4/18/2012	Probl. Sistema Lubricacion Central	P0	K4G185	Q01
88886	4/24/2012	Probl. Sistema Lubricacion Central	P0	K4G185	Q01
94979	6/1/2012	Probl. Sistema Lubricacion Central	P0	K4G185	Q01
94984	6/1/2012	Probl. Sistema Lubricacion Central	P0	K4G185	Q01
94988	6/1/2012	Probl. Sistema Lubricacion Central	P0	K4G185	Q01
94990	6/1/2012	Probl. Sistema Lubricacion Central	P0	K4G185	Q01
101731	7/19/2012	Probl. Sistema Lubricacion Central	P0	K4G185	Q01
110323	9/14/2012	Probl. Sistema Lubricacion Central	P0	K4G185	Q01
115098	10/4/2012	Probl. Sistema Lubricacion Central	P0	K4G185	Q01

Fuente: Autores 2012

- **Calculo probabilidad de falla:** para calcular la probabilidad de falla se necesitan tres aspectos: periodo de tiempo, % de probabilidad y niveles de confianza.

Para calcular el periodo de tiempo se utiliza el registro histórico de WR creadas. Se propone tomar en este contexto de la herramienta Minecare el MTBF como la suma de los tiempo entre fallas (TBF) individuales de cada

WR dividido el numero de WR creadas. Aplicado a la figura 20, por ejemplo, el MTBF del evento llamado “Problema Sistema de Lubricación Central” es de 15.5 días. Por medio de la utilización del software SuperSmith Visual, se obtendrán los parámetros λ y β del método Crow Amsaa necesarios para calcular la probabilidad de ocurrencia de eventos Minecare.

Para efectuar los cálculos, se deben ingresar los TBF de cada uno de los eventos Minecare (modos de falla mezclados), de cada retroexcavadora, ordenado por fecha, tal como se observa en la tabla 14.

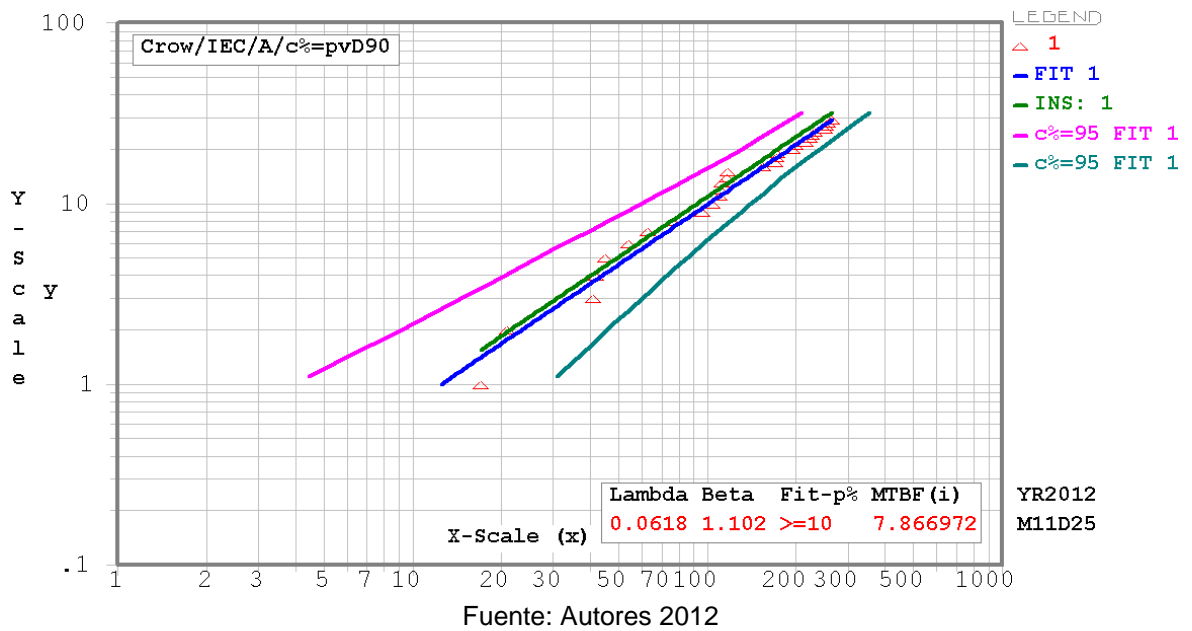
Tabla 14. Work Request ordenadas por fecha.

Work Request ID	Fecha	Sintoma	Prioridad	Std Job	Equipo
74389	1/16/2012	Probl. Sistema Lubricacion Central	P0	K4G185	Q01
75077	1/20/2012	Probl. Sistema Lubricacion Central	P0	K4G185	Q01
77911	2/9/2012	Probl. Sistema Lubricacion Central	P0	K4G185	Q01
78043	2/10/2012	Probl. Sistema Lubricacion Central	P0	K4G185	Q01
78441	2/13/2012	Probl. Sistema Lubricacion Central	P0	K4G185	Q01
79751	2/22/2012	Filtro Retorno Aceite Hidraulico	P0	K4G169	Q01
80954	3/2/2012	Prob. Sistema Lubricacion	P0	K4G081	Q01
83211	3/15/2012	Filtro Retorno Aceite Hidraulico	P0	K4G169	Q01
83215	3/15/2012	Probl. Sistema Lubricacion Central	P0	K4G185	Q01
85716	4/3/2012	Probl. Sistema Lubricacion Central	P0	K4G185	Q01
86799	4/11/2012	Prob. Sistema Lubricacion	P0	K4G081	Q01
87823	4/17/2012	Probl. Sistema Lubricacion Central	P0	K4G185	Q01
87875	4/18/2012	Prob. Filtro Aceite PTO	P2	K4G166	Q01
87925	4/18/2012	Probl. Sistema Lubricacion Central	P0	K4G185	Q01
88109	4/19/2012	Prob. Filtro Aceite PTO	P2	K4G166	Q01

Fuente: Autores 2012

- Se procede a obtener el acumulado de tiempos entre fallas de todos los eventos Minecare registrados, sumando de manera consecutiva el valor TBF de cada uno de los Work Request, tal como lo indica el procedimiento del método, el software organiza automáticamente esta columna de valores.
- Se obtiene la siguiente pantalla de resultados con un ajuste de nivel de confianza del 95%.

Figura 46. Grafico Crow Amsaa con parámetros característicos.



Como se observa, los parámetros característicos son:

$$\lambda = 0.0618$$

$$\beta = 1.102$$

La función de probabilidad de falla utilizada en el método Crow Amsaa es:

PDF (t) = $\lambda * t^{\beta}$, reemplazando los valores anteriores quedaría

$$\text{PDF (t)} = 0.0618 * t^{1.102} \quad (6)$$

Dado que ya se tienen los valores relacionados al lucro cesante, materiales y repuestos, mano de obra directa y probabilidad de falla, se hace uso de la ecuación 5 y se calcula el estimado de beneficios obtenido por atender cada uno de los eventos Minecare registrados en el sistema y convertidos en Work Request en cada equipo, ver tabla 30 donde se observa el caso de la retroexcavadora Q01.

Este mismo procedimiento se aplica a las demás retroexcavadoras.

Tabla 15. Estimado de beneficios Minecare para la retroexcavadora Q01.

EVENTO	Std Job	Material+Lucro+Repuestos	MTBF	Probabilidad	Ahorro Estimado
Alta Temp. Refrigerante	K4C151	401543.04	234	25.23%	101296.97
Bajo Nivel Aceite Motor	K4C253	107695.36	205	21.80%	23482.17
Nivel Aceite Hidraulico Muy Bajo	K4G065	123847.68	276	30.26%	37476.43
Probl. Sensor Temp Aceite PTO	K4G069	255771.52	218.5	23.39%	59829.61
Prob. Sistema Lubricacion	K4G081	50390.72	33.5	2.96%	1492.58
Prob. Corriente Bateria	K4G104	1282.56	182	19.12%	245.28
Prob. Monitoreo Lubricacion PTO	K4G147	255771.52	185	19.47%	49803.96
Prob. Monitoreo Control Piloto	K4G163	480.96	185	19.47%	93.65
Prob. Filtro Aceite PTO	K4G166	1923.84	46.25	4.23%	81.30
Filtro Retorno Aceite Hidraulico	K4G169	5771.52	29.5	2.57%	148.60
Prob. Monitoreo Freno Viaje Engranaje Recorrido	K4G174	160.32	185	19.47%	31.22
Probl. Sistema Lubricacion Central	K4G185	50390.72	15.5	1.27%	638.39
Prob. Lubricacion Corona Giro	K4G189	240390.72	268	29.29%	70422.38
Alta Temperatura Aceite PTO	KMAAPT	480.96	238	25.70%	123.62

Fuente: Autores 2012

Luego de tener estos ahorros individualizados, se presenta en una tabla la frecuencia de creación de Work Request para cada evento a lo largo de los meses pertenecientes a los años 2011-2012 en los cuales se tenga registro de WR creadas.

Tabla 16. Registro de creación de WR año 2012 retroexcavadora Q01.

Equipo2	Std Jol	Jan	Feb	Mar	Apr	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Total general
Q01	K4G185	2	3	1	4	4	1		1	1	17
	K4G081			1	3	1				3	8
	K4G166				2		2				4
	K4G169		1	1							2
	K4G069							2			2
	KMAAPT								1		1
	K4G163						1				1
	K4G174						1				1
	K4G065									1	1
	K4C253							1			1
	K4G189									1	1
	K4G104						1				1
	K4C151								1		1
	K4G147						1				1
Total Q01		2	4	3	9	5	7	3	3	6	42

Fuente: Autores 2012.

Con la frecuencia de registro de Work Request y el valor obtenido para cada evento se obtiene el reporte mensual por concepto de ahorro estimado con ayuda del sistema Minecare mes a mes incurrido a lo largo del año 2011 y 2012.

Tabla 17. Ahorro estimado mes a mes años 2011-2012 Flota PC4000.

AÑO	MES	Q01	Q02	Q03	Q04	Q05	TOTAL
2011	Agosto	0.0	0.0	15.2	118.8	7.0	141.0
	Septiembre	1276.8	0.0	17222.1	892.9	22858.7	42,250.4
	Octubre	93.7	0.0	1106.9	0.0	0.0	1,200.6
	Noviembre	123.6	0.0	89.3	7.6	196.3	416.8
	Diciembre	1276.8	0.0	3596.6	23831.2	4472.7	33,177.3
2012	Enero	1276.8	0.0	2587.2	474.3	0.0	4,338.3
	Febrero	2063.8	26755.4	1555.3	4926.2	18364.8	53,665.5
	Marzo	2279.6	12516.8	1613.6	23042.6	17193.7	56,646.4
	Abril	7193.9	33704.8	49937.3	11516.3	3241.1	105,593.3
	Mayo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Junio	4046.1	37252.4	31935.1	6841.1	0.0	80,074.8
	Julio	50975.1	41449.1	17321.8	107381.3	25845.4	242,972.7
	Agosto	143141.4	19512.1	84109.4	4920.7	21259.0	272,942.6
TOTAL	213747.6	171190.7	211089.7	183952.9	113438.7	893,420	

Fuente: Autores 2012.

10. ANÁLISIS FINANCIERO

El análisis financiero se realiza con el propósito de evaluar el desempeño económico y operacional de un proyecto en un horizonte de tiempo. Es un proceso mediante el cual se identifica y cuantifica las inversiones requeridas, los beneficios y los costos esperados de un proyecto con el objetivo de tomar una decisión sobre su implementación²⁹.

Igualmente, permite optimizar la asignación de recursos disponibles mediante la selección de aquellos proyectos que generen mayor valor.³⁰

Es importante recordar que los recursos con los que cuentan las empresas tienden a ser escasos, o al menos limitado en cantidad y/o accesibilidad, por lo tanto, es necesario definir con claridad cuanto invertir y en que invertir.

Toda evaluación deberá resolver algunas de las siguientes cuestiones:

- Establecer si un proyecto es conveniente, o no, y el momento óptimo para ejecutarlo.

²⁹ Vecino Arenas, Carlos Enrique. Fundamentos de Ingeniería Económica. Editorial Universidad Industrial de Santander. 2010

³⁰ De la Fuente, Gabriel. Evaluación económica financiera de proyectos de inversión. Universidad de Buenos Aires. 2008

- Determinar qué proyectos deben ser eliminados.
- Priorizar en qué orden se deben ejecutar los proyectos más convenientes en función de la disponibilidad de recursos.
- Identificar los parámetros o variables más relevantes en el desarrollo de un proyecto.

Elementos fundamentales de todo proyecto de inversión:

- Inversión: una inversión es la afectación de recursos a un proyecto determinado, con la esperanza de obtener un beneficio en el futuro.
- Flujo de fondos: está conformado por todos los parámetros y variables relevantes para un proyecto. Representa una estimación económica del movimiento de efectivo que generara un proyecto a lo largo de su vida.
- Factor Tiempo: este factor es incorporado al análisis mediante la utilización de una tasa de interés.

10.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES

En términos generales, un proyecto será factible si sus beneficios superan a sus costos, entendiendo por beneficio a todo ingreso asociado o reducción en los costos. Los beneficios que se obtienen de un proyecto pueden ser de la siguiente naturaleza:

- **Beneficios Intangibles:** son difíciles de medir en términos monetarios: inversiones en salud, educación, publicidad y capacitación de personal son algunos de estos ejemplos.
- **Beneficios Tangibles:** son aquellos donde la medición se realiza en términos monetarios, como es el caso de inversiones financieras o en activos productivos.

Por lo tanto, se debe analizar la viabilidad de todos los aspectos que causen impacto en la toma de la decisión final, algunos de estos son:

- **Viabilidad Técnica:** Busca establecer si es posible física o materialmente la realización de un determinado proyecto.
- **Viabilidad Legal:** busca determinar los aspectos legales que pueden afectar, de alguna manera, la materialización de un proyecto.
- **Viabilidad política:** corresponde a la intencionalidad, de quien debe decidir, de querer o no implementar un proyecto independientemente de su rentabilidad.
- **Viabilidad Económica:** intenta establecer, en forma monetaria, si un proyecto es conveniente o no.

10.2. CRITERIOS O MÉTODOS PARA EVALUAR LA VIABILIDAD ECONÓMICA DE PROYECTOS DE INVERSIÓN

La rentabilidad de un proyecto se puede medir de muchas formas distintas: en unidades monetarias, porcentaje o tiempo que demora la recuperación de la inversión, entre otras.

Se denomina criterios o métodos a las distintas técnicas utilizadas en la medición de la rentabilidad de un proyecto. Estos pueden ser entre otros criterios con base en:

- Diferencia entre Ingresos y Egresos
- Rentabilidad Obtenida
- Monto Final Acumulado
- Tiempo de Recuperación de la Inversión

La evaluación económico-financiera con base en la diferencia entre ingresos y egresos, muestra los períodos de recuperación de flujos de efectivo (toma una serie de entradas y salidas de efectivo y medir el tiempo que tarda en retornar la inversión para cubrir los costos de inversión). Los plazos de recuperación estimados de diferentes inversiones potenciales se pueden comparar respecto a unos plazos deseados planificados en el horizonte del proyecto por el inversionista

ó exigidos por entes externos interesados en su realización, para ayudar a decidir qué alternativa es la mejor.

Entre los métodos más importantes para evaluar proyectos de inversión y que se van a utilizar en esta monografía podemos citar los siguientes:

- **VALOR PRESENTE NETO (VPN)**

El valor presente neto, es la utilidad adicional o beneficio adicional neto que se recibe cuando se invierte en proyectos que le generen beneficios superiores a los que produciría el mismo dinero si se hubiera invertido al interés de oportunidad. Consiste en Traer a presente (periodo cero en el diagrama de flujos) todos los flujos, tanto positivos como negativos a una tasa de interés determinada, que es la que se denomina tasa o interés de oportunidad del inversionista³¹.

Entre las ventajas de aplicar este criterio están, que es de fácil aplicación por la sencillez de sus cálculos, igualmente, al basarse en la transformación de egresos e ingresos futuros en pesos de hoy se pueden visualizar fácilmente las características de nuevos proyectos y compararlos con otras alternativas.

³¹ Vecino Arenas, Carlos Enrique. Fundamentos de Ingeniería Económica. Editorial Universidad Industrial de Santander. 2010. Pág. 241

Se requiere como prioridad conocer el flujo de caja del proyecto para comparar los ingresos y egresos en el presente, se debe trasladar estos valores al punto cero y hallar su diferencia para obtener el valor presente neto. La ecuación para calcular este parámetro es la siguiente:

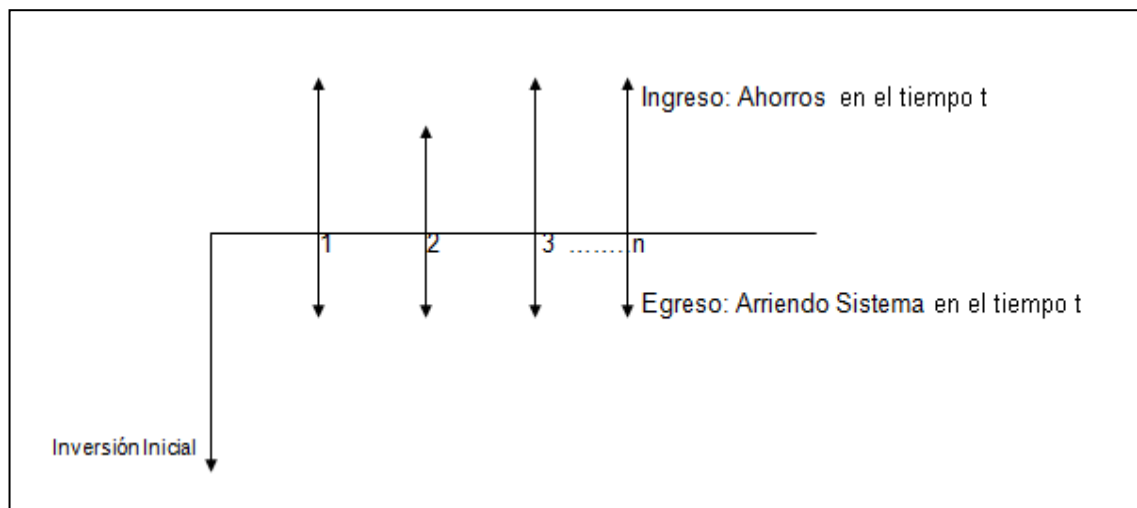
$$\begin{aligned} \text{Valor Presente Neto} &= \text{Valor Presente de Ingresos} - \text{Valor Presente Egresos} \\ (\text{VPN}) &= \text{VPI} - \text{VPE} \quad (5) \end{aligned}$$

Otra manera de expresar el valor presente neto es el siguiente:

$$\text{VPN} = \sum \text{Flujo}_n / (1 + i)^n - \text{Inversión Inicial} \quad (6)$$

Donde, el Numero n depende de la cantidad de periodos a analizar. Tener en cuenta de que cuando el flujo de dinero es un egreso la formula llevara antepuesta un signo negativo según la convención del diagrama de flujo.

Figura 47. Flujo de Caja Sistema Minecare PC4000



Fuente: Autores 2012

Para aplicar la ecuación 6, se requiere tener en cuenta los siguientes conceptos:

- Ingresos: estos ingresos corresponden a los ahorros generados a lo largo del periodo anual Agosto 2011 Agosto 2012, en la flota PC4000, sus valores se muestran en la tabla 46.
- Egresos: los egresos mensuales corresponden al precio por la prestación del servicio sistema Minecare®, mediante la modalidad de Hosting. Este valor es de USD\$ 49.425.3 pagados durante 36 cuotas mensuales, por lo tanto el valor anual por este concepto es de USD\$593103.6. Según estimaciones preliminares, la flota PC4000 contribuye con el 20% de este valor anual, lo que arroja un valor anual de USD\$118620.6
- Inversión Inicial: La inversión inicial en que se incurrió al adquirir el sistema Minecare es de aproximadamente USD\$1.800.000. En este se tiene en cuenta la instalación de los servidores y la puesta en productivo del sistema Minecare®. Como en el caso anterior, se estima que la flota PC4000 contribuye con el 20% de esta inversión, lo que da un valor de USD\$360.000.
- Se asume una Tasa Interna de Retorno de 12%.

- La meta de disponibilidad es de 7% que se estimara se logre 3 años que tiene de horizonte el sistema, por lo que se asume se disminuirán ahorros por Minecare dado a una mejor disponibilidad a una tasa de 2.3% anual.

Teniendo en consideración todo lo anterior se calcula el VPN solo de la flota PC4000 y los resultados son presentados en la siguiente tabla.

Tabla 18. Calculo para VPN

HORIZONTE ACTUAL DEL PROYECTO				
Concepto	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3
Inversion Inicial	\$ 360,000.00			
Hosting Mensual		\$ 118,620.72	\$ 118,620.72	\$ 118,620.72
Ahorros Estimados		\$ 893,420.00	\$ 862,150.30	\$ 831,975.04
Tasa de Interes	12%			
VPN	\$1,278,815.91			

Fuente: Autores 2012

Como se observa en el resultado, el VPN arrojó un valor positivo de USD\$1,278,815.91, lo cual significa que es atractivo mantener el proyecto en las retroexcavadoras en estudio.

10.3. TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

Se denomina Tasa Interna de Retorno (TIR), la tasa de interés que hace que el Valor Presente Neto de una inversión sea igual a cero (VPN=0). Este es un criterio para la evaluación financiera de proyectos que iguala el valor presente de los

flujos de caja esperados con la inversión inicial. En otras palabras, la TIR es la rentabilidad implícita del proyecto.

Con la ayuda del software Excel se calcula la TIR para los valores mostrados en la tabla 19. Reemplazando estos valores se tiene:

Tabla 19. Calculo de TIR

HORIZONTE ACTUAL DEL PROYECTO				
Concepto	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3
Inversion Inicial	\$ (360,000.00)			
Hosting Mensual		\$ (118,620.72)	\$ (118,620.72)	\$ (118,620.72)
Ahorros Estimados		\$ 893,420.00	\$ 862,150.30	\$ 831,975.04
Flujo Neto de Caja	\$ (360,000.00)	\$ 774,799.28	\$ 743,529.58	\$ 713,354.32
TIR	204%			

Fuente: Autores 2012

Nuevamente, la TIR está muy por encima de las expectativas del cliente, quien estima aceptable un 12%. Según este criterio el proyecto es rentable.

CRITERIO RELACIÓN BENEFICIO/COSTO (B/C)

Este índice a diferencia del VPN no se basa en la diferencia o valor neto entre ingresos y egresos sino en la proporción o relación entre ingresos y egresos.

El índice, o relación B/C se puede hallar con los mismos componentes del VPN, los cuales son el valor presente de ingresos VPI y el valor presente de egresos VPE, pero en cambio de restarlos se dividen (VPI/VPE)

Tabla 20. Cálculo de RELACION B/C

HORIZONTE ACTUAL DEL PROYECTO				
Concepto	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3
Inversion Inicial	\$360,000.00			
Hosting Mensual		\$118,620.72	\$118,620.72	\$118,620.72
Ahorros Estimados		\$893,420.00	\$ 862,150.30	\$831,975.04
Tasa de Interes	12%			
VPN	\$1,278,815.91			
VPE	\$703,152.80			
RELACION B/C	2.82			

Fuente: Autores 2012

Al comparar el resultado obtenido de 2.82, contra el valor de 1, se observa que se cumple este criterio comparativo.

CONCLUSIONES

- Se estableció un marco técnico-económico que mostro un procedimiento para adoptar un sistema de monitoreo en línea de parámetros esenciales de trabajo que permitirá mejorar los índices de confiabilidad de flotas mineras.
- Al estandarizar los beneficios, se pudo ver claramente las diferencias de realizar un mantenimiento con acciones proactivas y las mejoras que puede traer para un departamento de mantenimiento un sistema de monitoreo en línea como Minecare®
- EL modelo matemático propuesto de cuantificación de ahorros, arrojó resultados aceptables, utilizando un modelo de cálculo de probabilidad de falla, que se ajustara a las características que posee el sistema Minecare®, sin embargo, requiere de trabajo sincronizado y oportuno de apertura, atención y cierre de WR tanto de Cerrejón como de los analistas Minecare
- La metodología para cuantificar ahorros no es exclusiva para las retroexcavadoras Komatsu PC4000, puede ser extrapolada a las diferentes flotas mineras tanto de acarreo como de carga.

- Para extraer mayor provecho del sistema Minecare, este debe operar sobre la base metodológica del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), de lo contrario, si opera sobre el mantenimiento preventivo solo se obtendrían acciones correctivas que no aportan al objetivo de alcanzar mantenimiento clase mundial.
- Se demostró mediante 3 criterios de evaluación financiera, que los ahorros generados por el sistema Minecare justifican su adquisición bajo el modelo de arrendamiento del servicio que actualmente rige el contrato entre Modular Mining Systems y Carbones del Cerrejón Limited, lo que hace el proyecto viable y atractivo

HORIZONTE ACTUAL DEL PROYECTO				
Concepto	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3
Inversion Inicial	\$ (360,000.00)			
Hosting Mensual		\$ (118,620.72)	\$ (118,620.72)	\$ (118,620.72)
Ahorros Estimados		\$ 893,420.00	\$ 862,150.30	\$ 831,975.04
Flujo Neto de Caja	\$ (360,000.00)	\$ 774,799.28	\$ 743,529.58	\$ 713,354.32
TIR	204%			
VPN	1,278,816			
RELACION B/C	2.82			

- Cabe resaltar que este sistema de monitoreo no solo esta implementado en las flota de retroexcavadoras bajo estudio, también lo está en equipos de acarreo y otros equipos de cargue, lo que garantiza aun más la viabilidad técnico económica de implementar el sistema en otras compañías mineras.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBARRACIN AGUILLON, Pedro Ramón. Tribología y Lubricación. Bucaramanga: Litochoa, 1993. 980 p.

ARCINIEGAS, Álvarez Carlos Alberto. Mantenimiento Productivo Total. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander Escuela de Ingeniería Mecánica.

BARRINGER PAUL, H. Predict Failures with Crow Amsaa. International Mechanical Engineering Conference. Kuwait. 2004

DUANE, J. T. (1964), Learning curve approach to reliability monitoring, IEEE Transactions on Aerospace, p. 563-566.

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

MORA GUTIERRÉZ, Alberto. Mantenimiento estratégico para empresas de industriales ó de servicios. Medellín: Coldi. 2012.

MORA GUTIERRÉZ, Alberto. Mantenimiento industrial efectivo. Medellín: AMG. 2005.

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

MOUBRAY. Jhon. Reliability-Centered Maintenance RCM II. Lillintong, North Carolina: Aladon LLC. 2004. 421p.

ORTIZ, Daniel. Memorias Clase de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad - RCM. Especialización de gerencia de mantenimiento. UIS. Bucaramanga 2010.

WANG, PENG; COT, DAVID W. Repairable Systems Reliability Trend Tests and Evaluation. Reliability and Maintainability Symposium. 2005, p. 416-421.