

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA INDUSTRIAL Y DE SISTEMAS



**MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (MCC) PARA
MOTORES DE LA FLOTA KOMATSU 930E EN UNA UNIDAD MINERA**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO INDUSTRIAL

DAVID JOEL CHAMBI GARAVITO

LIMA – PERU

2012

DEDICATORIA

A mis padres, que gracias a sus consejos, con su apoyo incondicional y la confianza que me brindan en cada etapa de mi desarrollo profesional.

AGRADECIMIENTO

A mis maestros que me brindaron los conocimientos y exigencias continuas. A mi alma mater, pues me inculcó la exigencia y competitividad en el aprendizaje.

A mi asesor, por su dedicación, paciencia, tiempo y valiosos aportes en la revisión del presente Informe.

INDICE

RESUMEN.....	5
INTRODUCCION.....	6
CAPÍTULO I.....	7
1. PENSAMIENTO ESTRATÉGICO.....	7
1.1. DIAGNÓSTICO FUNCIONAL.....	7
1.1.1. <i>Organizacion</i>	7
1.1.2. <i>Clientes Unidad Toquepala</i>	9
1.1.3. <i>Proveedores de la Unidad Toquepala</i>	10
1.1.3.1. <i>Mantenimiento Mina</i>	10
1.1.4. <i>Procesos de la Unidad Toquepala</i>	10
1.2. DIAGNOSTICO ESTRATEGICO.....	20
1.2.1. <i>Análisis Interno</i>	20
1.2.2. <i>Análisis Externo</i>	21
1.3. PLANEAMIENTO ESTRATEGICO.....	22
1.3.1. <i>Organigrama Unidad Toquepala</i>	22
1.3.2. <i>Misión</i>	23
1.3.3. <i>Estrategia Empresarial</i>	23
CAPÍTULO II.....	24
2. MARCO TEÓRICO Y METODOLÓGICO:.....	24
2.1. TIPO DE MANTENIMIENTO.....	24
2.1.1. <i>Mantenimiento Preventivo</i>	24
2.1.2. <i>Mantenimiento Predictivo</i>	24
2.2. INDICADORES DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO (KPI).....	25
2.2.1. <i>Disponibilidad</i>	26
2.2.2. <i>Utilización</i>	26
2.2.3. <i>MTBS: Tiempo de parada promedio entre paradas y de Mantenimiento</i>	26
2.2.4. <i>MTBF: Tiempo Promedio entre Falla</i>	27

2.2.5. <i>MTTR: Tiempo Promedio para Reparar Falla</i>	27
2.3. CONFIABILIDAD.....	27
2.3.1. <i>Distribución Weibull en la evolución del comportamiento de fallas en el tiempo</i>	29
2.4. MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (MCC) ...	30
2.4.1. <i>Análisis de Modo y Efecto de Fallas</i>	31
2.4.2. <i>Las siete Preguntas básicas del MCC</i>	32
CAPÍTULO III	45
3. PROCESO DE TOMA DE DECISIONES:	45
3.1. IDENTIFICACION D PROBLEMA.....	45
3.2. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS DE SOLUCION.....	50
3.2.1. <i>Tercerización de Reparación de Motores</i>	50
3.2.2. <i>Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC) para los Motores SQK60</i>	52
3.3. SELECCIÓN DE UNA ALTERNATIVA DE SOLUCION.....	52
3.4. PLANES DE ACCION PARA DESARROLLAR LA SOLUCION PLANTEADA.....	54
3.4.1. <i>Conformación del Equipo natural de Trabajo</i>	54
3.4.2. <i>Selección del sistema y definición del contexto Operacional</i>	55
3.4.3. <i>Definición de Funciones</i>	56
3.4.4. <i>Determinación de fallas Funcionales</i>	60
3.4.5. <i>Identificar modos de fallas</i>	62
3.4.6. <i>Efectos y consecuencias de las Fallas</i>	62
3.4.7. <i>Aplicación del Algoritmo de Decisión</i>	64
4. ANALISIS DE RESULTADOS:	67
4.1. SELECCIÓN DE CRITERIOS DE EVALUACION.....	67
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	70
GLOSARIO DE TERMINOS	72
BIBLIOGRAFIA	74
ANEXOS	75

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. 1 : Diagrama de Procesos de Unidad Toquepala.....	14
Gráfico 1. 2 : Proceso de Mantenimiento Mina.....	17
Gráfico 1. 3 : SubProceso Analizar Recursos y Prioridades.....	18
Gráfico 1. 4: Subproceso Ejecutar y Reparación Programada	19
Gráfico 2. 1: Preguntas Básicas del MCC	32
Gráfico 2. 2 : Gráfico de Algoritmo de MCC	42
Gráfico 3. 1 : Composición de demoras TK21	46
Gráfico 3. 2 : Diagrama Causa Efecto	49
Gráfico 3. 3 : Pareto Mantenimiento Motores Cummins QSK60.....	50
Gráfico 3. 4 : Numero de Fallas Motores Cummins QSK60	61
Gráfico 3. 5 : Indicadores Flota Komatsu 930 E (Muestra).....	64
Gráfico 4. 1 : Evolución de la Confiabilidad de Motor TK21.....	68
Gráfico 4. 2 : Evolución de Disponibilidad de TK21	69

LISTA DE FIGURAS

Figura 3. 1 : Motor Cummins , Motor Traccion	56
Figura 3. 2 : Sistema de Combustible.....	57
Figura 3. 3 : Sistema de Lubricación	58
Figura 3. 4 : Sistema de Admisión de Aire.....	59
Figura 3. 5 : Sistema de Enfriamiento.....	60

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. 1 : Flota Palas y Perforadoras	15
Tabla 1. 3 : Flota Equipo Auxiliar.....	16
Tabla 1. 2 : Flota Camiones.....	16
Tabla 2. 1 : Tiempos de KPI's Mantenimiento	26
Tabla 2. 2 : Ejemplos Funciones Principales.....	34
Tabla 2. 3 : Modo de Falla	37
Tabla 2. 4 : Valoración de Gravedad	39
Tabla 2. 5 : Valoración de Frecuencia de Falla	39
Tabla 2. 6 : Valoración de Detectabilidad	40

Tabla 3. 1 : Valoración de Calificación alternativas	53
Tabla 3. 2 : Evaluación de alternativas	53
Tabla 3. 3 : Tabla de Fallas Funcionales	61
Tabla 3. 4 : Tabla de Modo de Fallas	62
Tabla 3. 5 : Efecto de Fallas	63
Tabla 3. 6 : Valoración de NPR al Sistema de Lubricación	65
Tabla 3. 7 : Acciones de Hoja de decisión.....	66
Tabla 4. 1 : Indicadores de mantenimiento (Muestra)	68
Tabla 4. 2 : Resumen de Estimados de beneficios RCM.....	69

DESCRIPTORES TEMÁTICOS

- ✓ Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC).
- ✓ Confiabilidad de motores Cummins QSK60.
- ✓ Disponibilidad de motores Cummins QSK60.
- ✓ Camión Komatsu 930E.
- ✓ Minería a Tajo Abierto

RESUMEN

El presente informe trata sobre la determinación de las estrategias, dentro un contexto operacional, para lograr el cumplimiento del ciclo de vida de los motores Cummins QSK 60 de la Flota Volquetes, de tal forma que se justifique la inversión. Esto se refleja en los indicadores con niveles aceptables de confiabilidad y disponibilidad.

Para tal fin se analizó el comportamiento de dichos motores (datos del Sistema Dispatch) a través de una muestra de 7 camiones (de los 19), en un ciclo de vida, notándose deficiencias en la confiabilidad, impactando en los costos por tener equipos con paradas inesperadas, mas aun porque esta flota es responsable del acarreo y transporte del mineral en las operaciones mineras y representan casi el 70% del total diario (80,000 Ton)

Se consideró dos alternativas de solución, la primera era la Tercerización de la Reparación de los motores (por los mismos proveedores) y la otra era la implantación de la metodología del sistema de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC)

Realizando la evaluación de dichas alternativas (según factores alineados a las estrategias organizacionales) se decidió implementar la Metodología MCC. Pasando desde la elección del equipo de trabajo, determinación de Modo de Fallas, Efecto y Consecuencia de fallas, hasta las acciones a tomar (correctivas, Preventivas o Predictivas) según el Numero Ponderado de Riesgo y Criticidad de los Sistemas del motor. Siguiendo las acciones de la metodología se espera obtener incrementos importantes en la disponibilidad, traduciéndose en la mejora de la productividad.

INTRODUCCIÓN

Debido a la alta inversión en equipos y maquinarias en el entorno minero es prescindible buscar las mejores alternativas para reducir costos y mejorar la utilidad en la unidad minera, es por ello que el conocimiento de las últimas técnicas de gestión del mantenimiento constituye un camino adecuado para alcanzar una mejora en la eficiencia y en la productividad Minera. Es por ello que nace la idea del mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC), pues es ideal para este tipo de equipo por los ahorros significativos en las operaciones.

El presente informe está dividido en cuatro capítulos. En el capítulo I se da una visión general de la organización, describiendo sus procesos principales, y focalizándonos más en el área de Mantenimiento Mina respecto a Subprocesos, Proveedores, Equipos y entorno en el cual se desempeña y las perspectivas de operaciones. En el Capítulo II nos centramos en los aspectos teóricos y metodológicos del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad incidiendo en la evaluación de criticidad de los componentes de un equipo así como su valoración de Fallas. En el Capítulo III vemos la Identificación del problema, las causas y evaluación entre dos alternativas, resultando de aplicación la metodología MCC así como los pasos detallados del estudio a la muestra de motores de la flota en estudio. Finalmente en el Capítulo IV se ven los resultados de la aplicación de la metodología MCC, incidiendo en la mejora de la disponibilidad de los equipos tomando como base la reducción de fallas en los motores (por lo tanto aumenta la confiabilidad)

CAPÍTULO I

PENSAMIENTO ESTRATÉGICO

1.1. DIAGNÓSTICO FUNCIONAL

1.1.1. Organización

Southern Copper Corporation (SCC), es uno de los productores integrados de cobre más grandes del mundo. Producimos cobre, molibdeno, zinc, plomo, carbón y plata. Todas nuestras operaciones de minado, fundición, y refinación están ubicadas en Perú y México y conducimos actividades de exploración en estos países y en Chile. Desde 1996, nuestras acciones comunes están listadas tanto en la Bolsa de New York como en la Bolsa de Valores de Lima.

Southern Peru Copper Corporation (SPCC)

Inicia sus operaciones en Perú en el año 1960, como Southern Copper Corporation de Estados Unidos de Norteamérica, en Abril del 2005 se fusionó con Minera México y subsidiarias consolidándose así como la minera más importante de México y Perú.

SPCC realiza operaciones en Perú a través de una sucursal registrada ("SPCC Sucursal del Perú" o la "Sucursal del Perú"). Esencialmente, SPCC Sucursal del Perú comprende todos nuestros activos y pasivos relacionados con nuestras operaciones de cobre en el Perú. SPCC Sucursal del Perú no es una compañía separada de SCC y, por tanto, las obligaciones directas de

SPCC Sucursal del Perú son obligaciones de SCC y viceversa y aunque no tiene capital propio ni obligaciones separadas de nosotros, se considera que tiene un capital social con el fin de determinar la participación económica de los titulares de nuestras acciones de inversión.

Operaciones en Perú

i. Toquepala

Las operaciones en Toquepala Consisten en una mina de tajo abierto y una concentradora, también se refina cobre en una planta ESDE mediante un proceso de lixiviación. Toquepala está ubicada en el sur del Perú, a 30 Km de Cuajone y 870 Km de Lima. La planta ESDE tiene una capacidad de producción de 56,000 toneladas al año de cátodo grado A – LME de 99.999% de pureza. La producción empezó en 1960.



Principales Productos:

- Concentrados de Cobre con un contenido aproximado de 26,5% de concentración de Cu, 2% entre Molibdeno, Plata y Oro.
- Cátodos de Cobre de grado LME (99,999% Pureza). Plancha 1.1 m x 1.0 m x 3 cm. Con un Peso de 32 Kg.

ii. Cuajone

Las operaciones de Cuajone Consisten en una mina de cobre a tajo abierto y una planta concentradora ubicada a 30 Km de la ciudad de Moquegua. La concentradora tiene una capacidad de molienda de 87,000 ton/día. Inicia sus operación es 1,976.



Principales Productos:

- Concentrados de Cobre con un contenido aproximado de 25,8% de concentración de Cu.

iii. Planta de Refinería y fundición de Ilo

La fundición y refinería de Ilo esta ubicadas al sur del país, a 17 Km de la ciudad de Ilo.

Los concentrados de Cuajone y Toquepala son fundidos usando en horno ISASMELT, convertidores y hornos anódicos. El producto es llamado ánodo de cobre con un contenido de 99.7% de este metal.



Principales Productos:

- Fundición: Ánodos de Cobre, en el 2011 llegaron a 338,700 ton, con una pureza de 99.74%
- Fundición: Acido Sulfúrico, produciendo en el 2011 1,061,000 Ton
- Refinería: Cátodos de Cobre de grado A 99,998% de pureza que en el 2011 sumaron 260,100 ton
- Refinería: Oro Refinado, en el 2011 se produjo 363 Kg.
- Refinería: Plata Refinada, en el 2011 se produjo 98 Kg.

1.1.2. Clientes Unidad Toquepala

Como los principales productos de Toquepala son Concentrados de Cobre y Cátodos de Cobre de grado LME y además estos productos va a la Refinería y fundición de Ilo. El cliente principal seria la Planta de Refinería y Fundición de Ilo.

1.1.3. Proveedores de la Unidad Toquepala

1.1.3.1. Mantenimiento Mina

Los proveedores del área de mantenimiento de Toquepala tiene la característica que son las mismas empresas que venden los equipos a la compañía, pues al conocer los equipos, también dan el servicio de post venta dentro de la Mina. Esto para cada Flota.

Flota Camiones y Auxiliares:

- ✓ Komatsu – Mitsui Maquinarias del Perú S.A.C
- ✓ Ferreyros S.A.A, Representantes de los camiones y tractores Caterpillar.
- ✓ Repuestos Diesel S.A, quienes representan a los Motores MTU Detroit Diesel.

Flota Palas y Perforadoras:

- ✓ P&H MinePro Services Perú S.A.C.
- ✓ BUCYRUS INTERNATIONAL(PERU)S.A

Combustibles:

- ✓ Shell Lubricantes del Perú S.A

Neumáticos

- ✓ Neuma Perú Contratistas Generales S.A.C.

Reparaciones en Soldaduras:

- ✓ Serma – Ninco S.C.R.L

Suministros en General (Lubricantes, Filtros, Empaques, Válvulas)

- ✓ Redesin S.A.C.

1.1.4. Procesos de la Unidad Toquepala

El proceso productivo de las operaciones a tajo abierto consta de:

1.1.4.1. Mina

I. Perforación y Disparo

Para alcanzar en mineral se debe remover la roca en el yacimiento por lo que se perfora el terreno y se coloca una carga explosiva (Anfo). Una vez seleccionada la roca se determina el material si debe ser empleado en la concentradora (ley mayor a 0,4%) o en el proceso de Lixiviación (Ley menor a 0.4%)

II. Carguío y Acarreo

Las minas a cielo abierto tienen forma cónica por lo que para extraer el mineral se debe construir niveles en forma de escalones de 15 m. de altura los que se encuentran comunicados por rampas o caminos a desnivel. El material con una Ley mayor a 0.4% es extraído por las Palas, estas Palas cargan a los camiones y estos a su vez llevan este material hacia los Chutes, donde irán a parar a la Chancadora.



Carguío del mineral

1.1.4.2. Concentradora

I. Chancado o Trituración

El primer paso en la planta concentradora es el chancado. El mineral proveniente de la mina es triturado hasta alcanzar un tamaño cercano a la media pulgada.

Se inicia aquí el proceso de concentración, el cual consiste en la separación de aquello que no tiene valor.

ii. Molienda

Posteriormente el material triturado es trasladado a los molinos donde las rocas son pulverizadas. En esta etapa se utiliza agua, lo que permite liberar las partículas de cobre y Molibdeno



Molinos

iii. Flotación

Luego de la Molienda se pasa a la flotación (uso de floculantes), donde se obtiene el concentrado, partículas de mineral de cobre o molibdeno



Celda columna de flotación

iv. Filtrado y Secado

El concentrado de cobre es deshidratado mediante flitros de alta presión o con el uso del calor. Aquí termina la operación de minería, este concentrado con alrededor de 26% a 28% de mineral es enviado para los procesos de Fundición (Planta de Ilo)

1.1.4.3. Proceso de Lixiviación

Cuando la ley de los minerales en el tajo es menor a 0.4% estos se llaman desmonte y son trabajados por cargadores frontales, Camiones, Tractores a Oruga para que apilen este desmonte sobre Geomembranas en las Canchas de Lixiviación. Este desmonte es bañado con una solución cianurada para que en su base por medio de tuberías estas vayan a parar a las celdas de electrodeposición, obteniendo así el cobre grado A LME.

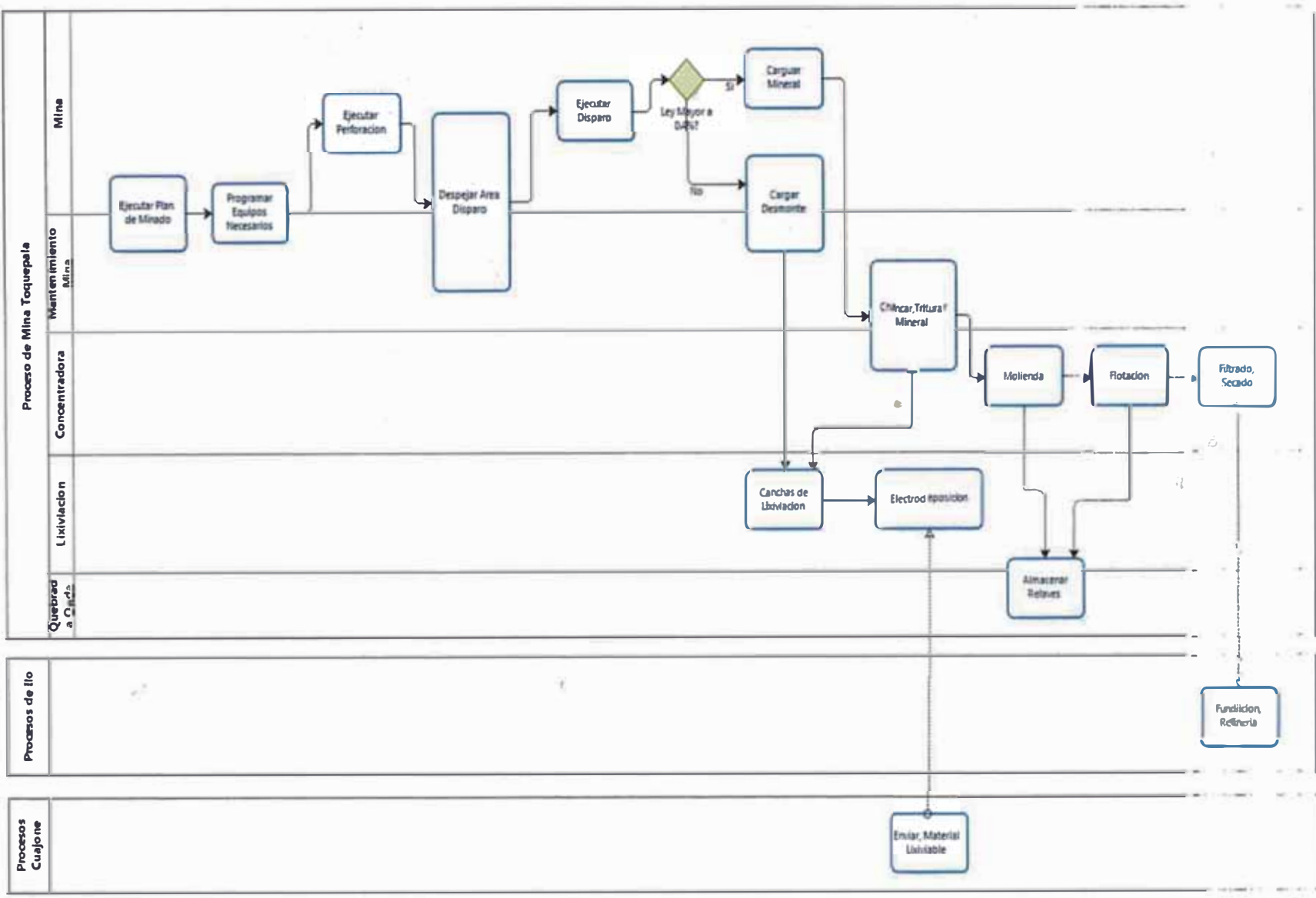


Reservorio de solución con contenido de cobre de lixiviación

1.1.4.4. Diagrama de Procesos Unidad Toquepala

Podemos resumir los procesos principales mediante el siguiente Gráfico 1.1:

Gráfico 1. 1 : Diagrama de Procesos de Unidad Toquepala



Fuente: Elaboración Propia

Según el diagrama anterior, Gráfico 1.1, podemos notar el papel importante del mantenimiento como actividad de soporte a las operaciones, es por ello que a continuación vamos a describir el proceso de mantenimiento cuya finalidad en mantener la disponibilidad de los equipos y así cumplir con los objetivos estratégicos de producción.

1.1.4.5. Proceso de Mantenimiento Minero, Unidad Toquepala

Para poder entender la magnitud de la responsabilidad del área de mantenimiento es necesario conocer los equipos y las características principales de cada flota:

i. Flota de Palas y Perforadoras

Esta flota cuenta con dos palas P&H 4100A con una capacidad de 73 t, lo que corresponde a 42.8 m³, 1 pala P&H 4100+ con una capacidad de 78 t, lo que corresponde a 45.9 m³, 1 Pala BUCYRUS 495 BI con una capacidad de 73 t, equivalente a 42.8 m³, 3 Palas BUCYRUS 495 HR con una capacidad de 105 t, equivalente a 55.81 m³, 1 perforadora eléctrica P&H 120A, 2 perforadoras eléctricas P&H 100XP, 2 perforadoras BUCYRUS 49RIII, 2 Perforadoras BUCYRUS 49 HR. Como se muestra en la tabla, Tabla 1.1

Tabla 1. 1 : Flota Palas y Perforadoras

Flo	Marc	Modelo	Cód Equipo Dispatch	Cantidad
Palas	P&H	P&H 4100A	S01, S02	2
		P&H 4100+	S03	1
	Bucyrus	495B-I	S04	1
		495 HR	S05, S06, S07	3
		Total Flota Palas		
Perforadoras	P&H	P&H 120A	DR01	1
		P&H 100XP	DR02, DR03	2
	Bucyrus	49RIII	DR04, DR05	2
		49 HR	DR06, DR07	2
		Total Flota Perforadoras		

Fuente: Elaboración Propia, Datos Dispatch Toquepala

ii. Flota de Camiones

Esta flota está conformada por 23 volquetes KOMATSU 930E de 283 toneladas de capacidad nominal cada uno, 5 volquetes CAT 793C de 231 toneladas de capacidad cada uno, 18 volquetes KOMATSU 830E de 218 toneladas de capacidad cada uno, Tabla 1.2

Tabla 1. 2 : Flota Camiones

FLOTA	Mar	Modelo	Moto	Cod Equipo Dispatch	Cantidad
CAMIONES	Caterpillar	CAT 793	Caterpillar	T01, T02, T03, T04, T05	5
	Komatsu	830E	Cummins QSK60	T80, T82, T83, T84, T85, T88, T89, T91, T92, T97	10
			Detroit Diesel MTU	T81, T86, T87, T90, T93, T94, T95, T96	8
		930E	Cummins QSK60	T14, T15, T16, T19, TK20, TK21, TK22, TK23, TK24, TK25, TK26, TK27, TK28, TK29, TK30, TK31, TK32, TK33, TK34	19
			Detroit Diesel MTU	T10, T11, T12, T13	4
Total Flota Camiones					46

Fuente: Elaboración Propia, datos Dispatch Toquepala

iii. Flota de Equipo Auxiliar

Como equipo auxiliar se cuenta con un tractor de oruga CAT D11-R, 1 tractor de oruga CAT D10-N, 2 tractores de oruga CAT D10-R, 3 tractores de oruga KOMATSU D375A; 1 Motoniveladora CAT 16-H; 2 Motoniveladora CAT 24-H, 3 tractores sobre llantas KOMATSU WD660, 2 tractores sobre llantas CAT 844C, 1 cargador frontal CAT 992D, Tabla 1.3

Tabla 1. 3 : Flota Equipo Auxiliar

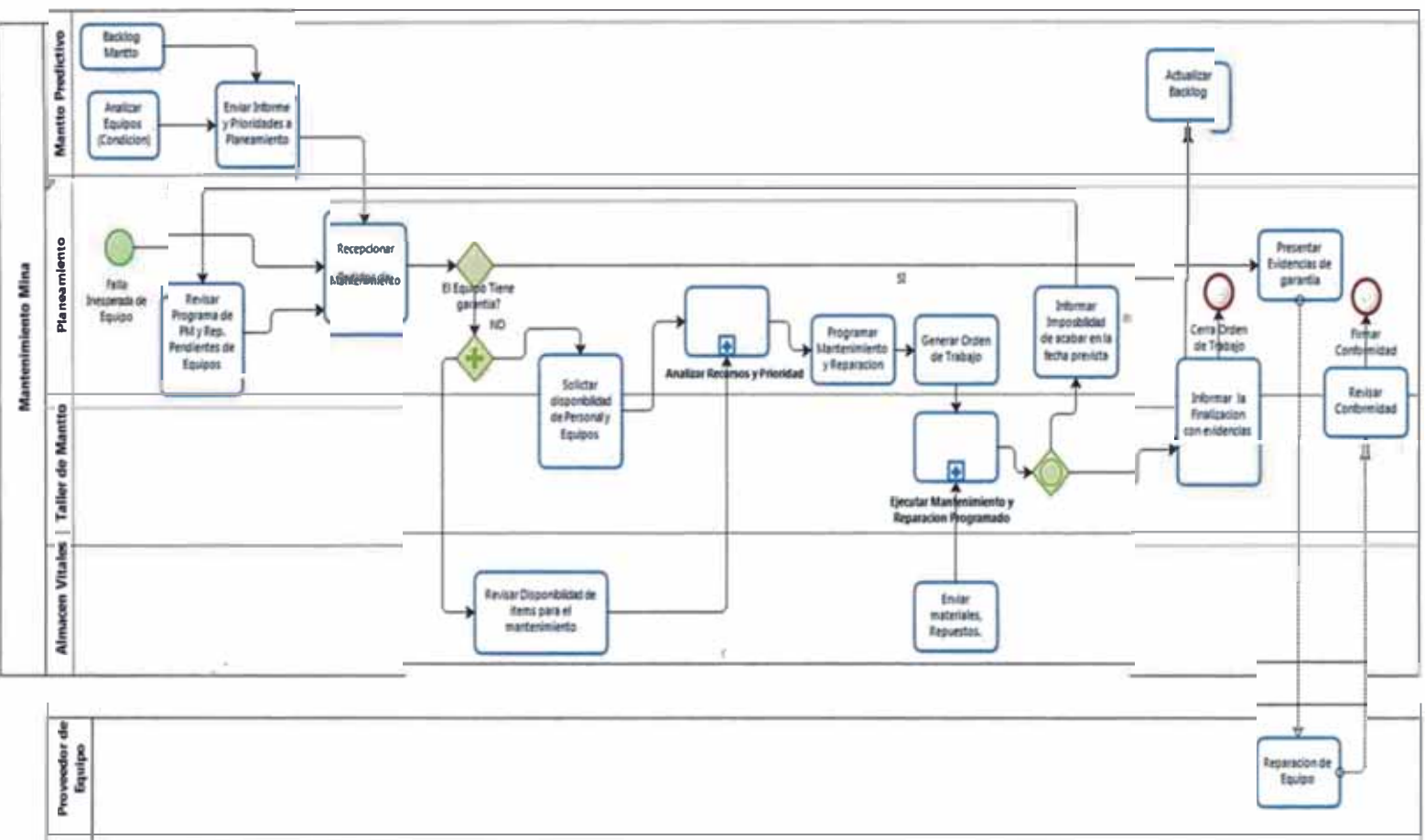
Equipo Auxiliar	Tipo	Marc	Modelo	Cod Equipo Dispatch	Cantidad
Tractor a Ruedas	Motoniveladoras	Caterpillar	16H	16-H2	1
	Motoniveladoras	Caterpillar	24H	24-H1, 24-H2	2
	Tractor	Komatsu	WD600	C12, C13, C14	3
	Tractor	Caterpillar	844C	C10, C11	2
	Cargador Frontal	Caterpillar	992D	S99	1
Tractor Orugas	Tractor	Caterpillar	CAT D11-R	D11R1	1
	Tractor	Caterpillar	CAT D10-N	D10N-1	1
	Tractor	Caterpillar	CAT D10-R	D10R-4, D10R-6	2
	Tractor	Komatsu	D375A	D375A-7, D375A-10, D375A-3	3
Total Flota Auxiliar					16

Fuente: Elaboración Propia, Datos Dispatch Toquepala

El Proceso de Mantenimiento de la flota de equipos Mina lo podemos resumir con el modelamiento de procesos:

Proceso: Mantenimiento Mina, Gráfico 1.2:

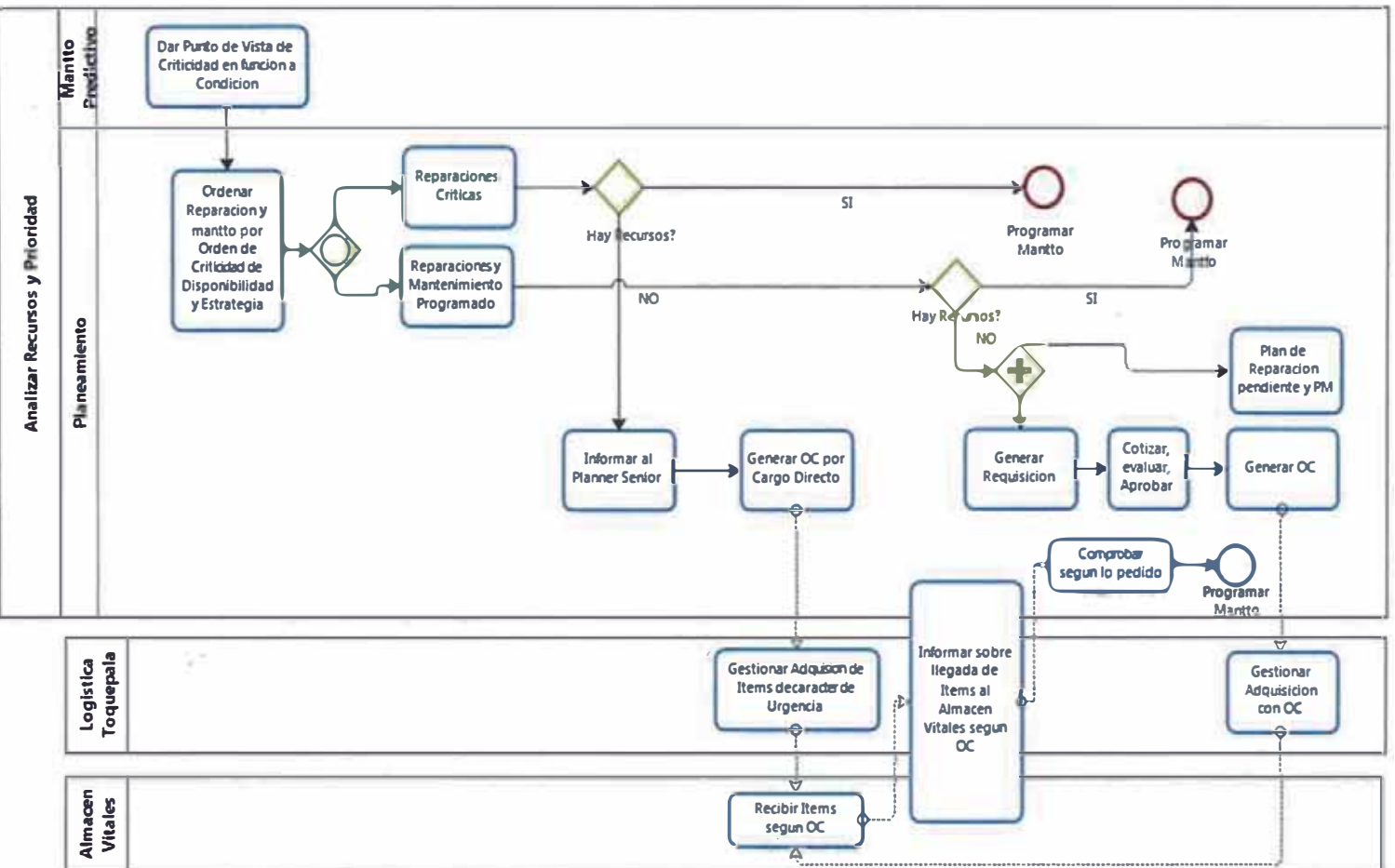
Gráfico 1.2 : Proceso de Mantenimiento Mina



Fuente: Elaboración Propia

Subproceso: Analizar Recursos y Prioridades G áfico 1.3

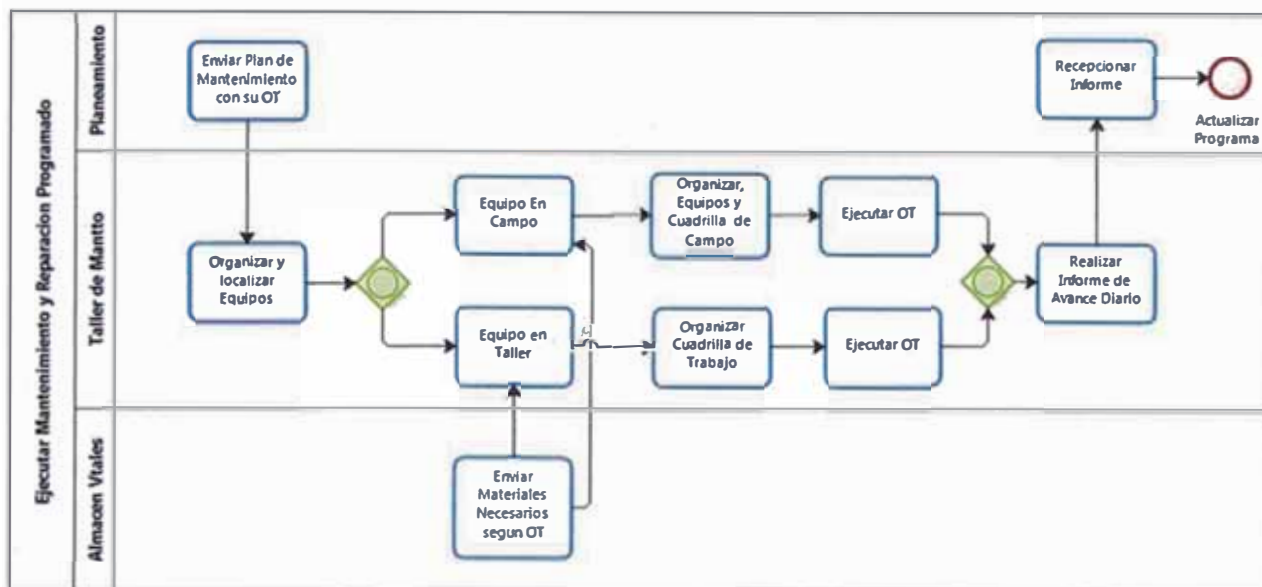
Gráfico 1.3 : SubProceso Analizar Recursos y Prioridades



Fuente: Elabó ion Propia

Subproceso: Ejecutar Mantenimiento y Reparación Programada, Gráfico 1.4

Gráfico 1. 4: Subproceso Ejecutar y Reparación Programada



Fuente: Elaboración Propia

De la descripción de procesos, Gráfico 1.2, podemos concluir que, el proceso de planeamiento de las actividades de mantenimiento de las unidades de la mina está a cargo del área Planeamiento del Mantenimiento, el cual recibe información de tres tipos:

- De las Horas de trabajo de las diferentes flotas reportadas por el sistema Dispatch, para su programación en Mantenimiento Programado (PM).
- Información del área de mantenimiento Predictivo, el cual mediante sus análisis y pruebas hacen de conocimiento los componentes de las maquinas que pudieran fallar. Así también hacen de conocimiento de trabajos o tareas pendientes (Backlog).
- Información del área de Operaciones mina, cuando hay alguna avería de equipo en campo, el cual debe repararse.

Con esta información se realiza el plan de mantenimiento semanal, tal como se muestra en el **Anexo Tabla 1.1**

Entre las funciones del área de Planeamiento se encuentran:

- a) Realizar La programación del mantenimiento, por cada una de las flotas
- b) Previsionar los Recursos necesarios para alguna Reparación programada o por condición, estos recursos son: Mano de obra (Horas Hombre), Repuestos necesario (coordinar con Logística), los equipos necesarios.
- c) Crear Órdenes de Trabajo para el área de taller de mantenimiento.
- d) Creación y seguimiento del Presupuesto asignado por cada flota. Así también la gestión para la reducción de costos.
- e) Velar por la disponibilidad de Stock de Repuestos Críticos (almacén Vitales).
- f) Coordinar con mantenimiento Predictivo para priorizar las reparaciones críticas.

1.2. DIAGNOSTICO ESTRATEGICO.

1.2.1. Análisis Interno

LISTA DE FORTALEZAS

F1. Buenas reservas de mineral Cobre, en Toquepala tiene para operar por 50 años más.

F2. Buena posición financiera pues tienen el respaldo del Grupo México.

F3. Costos manejables por las Operaciones integradas entre sus unidades del Perú (Cuajone Toquepala e Ilo).

F4. Infraestructura y equipos disponibles en Spare.

F5. Personal de mucha experiencia.

F6. Altos Volúmenes de Ventas aseguradas.

F7. Gran poder de negociación con los proveedores.

LISTA DE DEBILIDADES

D1. Clima Organizacional bajo por el cambio de políticas y remuneraciones.

D2. Fuerte resistencia al cambio, debido a que la mayoría del personal que sobrepasan los 50 años.

D3. Comunicación deficiente entre los empleados y las políticas de la gerencia.

D4. No hay sistemas claros de Mejora Continua.

D5. Deficiencia de comunicación en temas de Salud y Seguridad.

D6. Alto número de personal con discapacidad u enfermedades ocupacionales.

1.2.2. Análisis Externo.

LISTA DE OPORTUNIDADES

O1. Proyecto de ampliación de la concentradora que duplicaría la capacidad aproximada de producción a 120,000 ton por día.

O2. Tratamiento de agua más adecuada en los depósitos de relaves de Quebrada Onda.

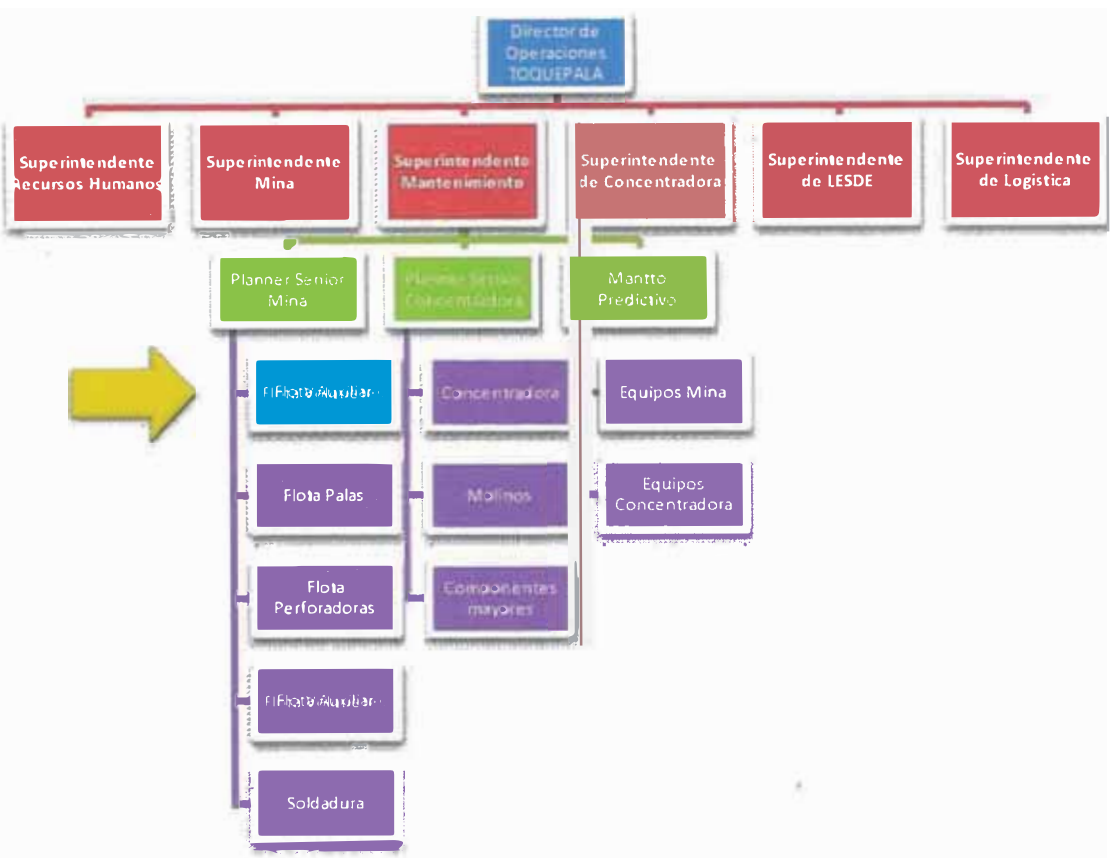
03. Proyecto de ampliación del aller de mantenimiento Mina

LISTA DE AMENAZAS

- A1. Conflictos con la comunidad aledañas a la Unidad Minera, por el uso de agua.
- A2. Escasez de agua fresca.
- A3. Sindicato de Trabajadores unidos, pueden parar las operaciones.

1.3. PLANEAMIENTO ESTRATEGICO

1.3.1. Organigrama Unidad Toquepala



Fuente: Elaboración Propia

1.3.2. Misión

Nuestra misión es extraer recursos minerales, para transformarlos y comercializarlos satisfaciendo las necesidades del mercado, cumpliendo con nuestra responsabilidad social y ambiental, y maximizando la creación de valor para nuestros accionistas

1.3.3. Estrategia Empresarial

Enfocarnos en la producción de cobre, el control de costos, la mejora de la producción y el mantenimiento de una estructura de capital prudente para continuar siendo rentables.

Principios y Valores

Principios	Valores
1. Cultura de Resultados	1. Creatividad
2. Cultura de la Innovación	2. Equidad
3. Cultura de Calidad	3. Solidaridad
4. Compromiso de servicio	4. Puntualidad
5. Cuidado del Medio Ambiente	5. Honestidad
6. Responsabilidad Social con la Comunidad.	6. Respeto
7. Desarrollo y bienestar del Recurso Humano.	7. Laboriosidad.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO Y METODOLÓGICO

2.1. TIPO DE MANTENIMIENTO

2.1.1. Mantenimiento Preventivo

Es aquél que consiste en la inspección periódica del equipo o dispositivo y en la reparación y sustitución, inclusive cuando no muestre signos de mal funcionamiento. De este modo se intenta que la tasa de fallas se mantenga constante en la etapa de operación normal o de fallas aleatorias, antes de la etapa final o etapa de envejecimiento. *Antonio Creus Solé (Fiabilidad y Seguridad, 2005, Pág. 108).*

El mantenimiento preventivo se puede realizar de tres formas:

- *Potencial Fijo* de revisión de componentes con intervalos de tiempos iguales entre revisiones, donde el componente se desmonta antes de haber fallado y se restaura a cero horas.
- *Según Condición* de los componentes en inspección periódica, se revisan cuando estas exceden los límites de operación.
- *Control de actuaciones* donde se realizan los desmontajes de los componentes para su examen.

2.1.2. Mantenimiento Predictivo

Consiste en el análisis de los parámetros del funcionamiento del sistema estudiando su evolución temporal para detectar una falla antes de que este provoque consecuencias más graves, evitando así fallas repentinas. Es decir

considera que existe una asociación entre los valores de ciertos parámetros y la evolución de las fallas. Como por ejemplo se hacen análisis de aceite de los motores, donde nos muestran los valores de los metales encontrados y según ello se puede saber la condición del motor. *Antonio Creus Solé (Fiabilidad y Seguridad, 2005, Pág. 110).*

Usa instrumentos tales como:

- *Análisis de Vibraciones*, determinación de frecuencias, por ejemplo una baja frecuencia indica desalineación de ejes en cambio una alta frecuencia indica falla de los rodamientos.
- *Termografía*, imágenes térmicas
- *Análisis de muestra de fluidos*, tales como el análisis del aceite de los motores de combustión Diesel, por ejemplo la presencia en exceso de Fe, Cu, Ag dan muestras claras de desgaste de pistones, o la presencia de Na, K, es porque se ha introducido agua salada en el aceite o en el refrigerante, estos elementos se cristalizan y dañan la cámara de combustión.
- *Análisis dinámico de operaciones del proceso*, alineación de ejes con laser, ultrasonidos para detectar desgaste de piezas de motor.

2.2. Indicadores de Gestión de Mantenimiento (KPI)

Los Indicadores de Gestión nos dan las herramientas para saber si estamos yendo según a los planificado, así también nos brinda valores para la Mejora Continua. A continuación definiremos las más importantes para la gestión de mantenimiento. **Tabla 2.1** Xtrata Copper (Manual de KPI's de mantenimiento, 2008)

Tabla 2. 1 : Tiempos de KPI's Mantenimiento

Tiempo Calendario (CT)	
Tiempo Disponible (AT)	Tiempo Improductivo (DT)
Tiempo Utilizado (UT)	Tiempo de Espera Operacional (OS)
	Perdida Planificada (PL)
	Perdida Por Interrupcion (BL)
Tiempo calendario (CT)	Horas Totales en el periodo, es decir
Tiempo Disponible (AT)	Horas totales en que el equipo esta disponible para ser utilizado.
Tiempo Improductivo (DT)	Horas totales en que el equipo no esta disponible para ser utilizado.
Perdida Planificada (PL)	Horas totales en que el equipo no esta disponible debido al tiempo
Perdida por Interrupcion (BL)	Horas totales en que el equipo se programo para ser utilizado, pero que no esta disponible debido a una interrupcion
Tiempo de Espera Operacional (OS)	Horas totales que el equipo esta disponible para ser utilizado, pero no es usado
Tiempo Utilizado (UT)	Horas totales que el equipo tiene asignado un operador

Fuente: XSTRATA COPPER KPI's mantenimiento

2.2.1. Disponibilidad

Porcentaje de tiempo calendario que el equipo estuvo físicamente disponible para trabajar.

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo Disponible (AT)}}{\text{Tiempo calendario (CT)}}$$

2.2.2. Utilización

Porcentaje del tiempo disponible que el equipo fue utilizado.

$$\text{Utilizacion} = \frac{\text{Tiempo Utilizado (UT)}}{\text{Tiempo calendario (CT)}}$$

2.2.3. MTBS: Tiempo de parada promedio entre paradas y de Mantenimiento

Es el tiempo promedio en horas entre eventos de mantenimiento, ya sean planificados, programados o por interrupción mientras el equipo esta siendo utilizado.

$$MTBS = \frac{\text{Tiempo Utilizado (UT)}}{\text{Numero de Paradas por Interrupcion + Numero de Paradas Planificadas}}$$

2.2.4. MTBF: Tiempo Promedio entre Falla

Es el tiempo promedio en horas entre las interrupciones de la producción causadas por eventos de perdida por interrupción (BL) mientras el equipo está siendo utilizado.

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo Utilizado (UT)}}{\text{Numero de Paradas por Interrupcion}}$$

2.2.5. MTTR: Tiempo Promedio para Reparar Falla

Es el tiempo promedio tomado para reparar un evento de perdida por interrupción (BL). No se incluyen las reparaciones llevadas a cabo por mantenimiento planificado, esta medida indica la facilidad para reparar un equipo y la efectividad de movilizar recursos cuando se produce una falla por interrupción.

$$MTTR = \frac{\text{Perdida por Interrupcion (BL)}}{\text{Numero de Paradas por Interrupcion}}$$

2.3. CONFIABILIDAD

La confiabilidad de un equipo se define como la probabilidad de que dicho equipo se mantenga en funcionamiento correcto durante un tiempo

determinado y bajo unas condiciones operativas determinadas de marcha o actuación (por ejemplo, condiciones de presión, temperatura, velocidad, tensión o forma de una onda eléctrica, nivel de vibraciones, etc.), si estas condiciones cambian hay que tener cuidado en comparar equipos idénticos en condiciones distintas. *José Luis Arqués Patón, (Ingeniería y gestión del mantenimiento en el sector ferroviario, 2009, Pag 3)*

Se define la variable aleatoria T como la vida del bien o componente. Se supone que T tiene una función $F(t)$ de distribución acumulada expresada por:

$$F(t) = P(T \leq t)$$

Además existe la función $f(t)$ de densidad de probabilidades expresada por la ecuación:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt}$$

La Función Fiabilidad $R(t)$ se define como:

$$R(t) = P(T > t) = 1 - F(t)$$

En otras palabras, $R(t)$ es la probabilidad de que un componente nuevo sobreviva más del tiempo t . Por lo tanto, $F(t)$ es la probabilidad de que un componente nuevo no sobreviva más del tiempo t . Por otra parte, la probabilidad de que un componente nuevo falle entre t y $t+s$ (s es un incremento de tiempo respecto a t) es igual a:

$$P\{t < T \leq t+s | T > t\} = \frac{P\{t < T \leq t+s\}}{P\{T > t\}} = \frac{F(t+s) - F(t)}{R(t)}$$

Dividiendo entre s y haciendo que s tienda a cero:

$$\lambda(t) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{s} \frac{F(t+s) - F(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{R(t)}$$

Donde la función $\lambda(t)$ es la función tasa de fallas, y es una característica del producto.

2.3.1. Distribución Weibull en la evolución del comportamiento de fallas en el tiempo

La duración de la vida de un equipo se puede dividir en tres periodos diferentes:

I. Juventud. Zona de mortandad infantil.

El Falla se produce inmediatamente o al cabo de muy poco tiempo de la puesta en funcionamiento, como consecuencia de:

- Errores de diseño
- Defectos de fabricación o montaje
- Ajuste difícil, que es preciso revisar en las condiciones reales de funcionamiento hasta dar con la puesta a punto deseada.

II. Madurez. Periodo de vida útil.

Periodo de vida útil en el que se producen Fallas de carácter aleatorio. Es el periodo de mayor duración, en el que se suelen estudiar los sistemas, ya que se supone que se reemplazan antes de que alcancen el periodo de envejecimiento.

III. Envejecimiento

Corresponde al agotamiento, al cabo de un cierto tiempo, de algún elemento que se consume o deteriora constantemente durante el funcionamiento.



Una gran mayoría de equipos reales no tienen una tasa de fallas constantes sino que es más probable que fallen a medida que envejecen.

Según esta distribución la confiabilidad está dada por :

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta}$$

Donde:

α = *parametro de la vida del equipo (relacionado con MTBF)*

t = *tiempo en la cual se desea conocer la confiabilidad del equipo*

β = *Parametro del periodo en el cual se encuentra operando el equipo*

En forma práctica se considera que $\alpha = \text{MTBF}$, y se asume $\beta=1$, quedando la expresión de la confiabilidad para un $t = 24$ horas:

$$\text{Confiabilidad} = e^{-\left(\frac{24}{\text{MTBF}}\right)}$$

2.4. MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (MCC)

El MCC, fue desarrollado en un principio por la industria de la aviación comercial de EEUU, en cooperación con entidades gubernamentales como la NASA y privadas como Boeing (Constructor de Aviones). Desde 1974, el departamento de defensa de los EEUU ha usado el MCC como filosofía de mantenimiento de sus sistemas militares aéreos, este éxito ha permitido que otras industrias adopten esta filosofía de mantenimiento.

El objetivo básico de cualquier gestión de mantenimiento consiste en incrementar la disponibilidad de los activos, a bajos costos permitiendo que dichos activos funcionen de forma eficiente y confiable dentro de un contexto operacional, en otras palabras, el mantenimiento debe asegurar que los activos continúen cumpliendo las funciones para las cuales fueron diseñadas.

El MCC sirve de guía para identificar las actividades de mantenimiento con sus respectivas frecuencias a los activos más importantes en un contexto operacional. Esta no es una fórmula matemática y su éxito se basa en el análisis funcional de los activos de un determinado contexto operacional. Se tiene que desarrollar un sistema de gestión de mantenimiento que sea flexible y se adapte a las necesidades reales de la organización tomando en cuenta la seguridad personal, el ambiente, las operaciones y la razón Costo/Beneficio.

Según Anthony Smith (RCM Gateway to World Class Maintenance, 2003) define el MCC como *“Una filosofía de la gestión del mantenimiento, en la cual un equipo multidisciplinario de trabajo se encarga de optimizar la confiabilidad operacional de un sistema que opera bajo condiciones de trabajo definidas, estableciendo las actividades más efectivas de mantenimiento en función de la criticidad de los activos pertenecientes a dicho sistema”*

2.4.1. Análisis de Modo y Efecto de Fallas.

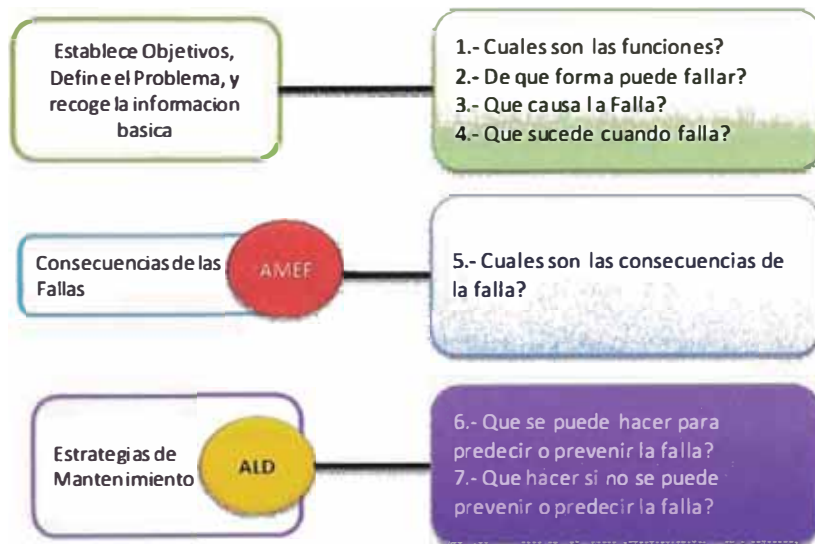
El Análisis de los modos y efectos de Fallas (AMEF), constituye la herramienta principal del MCC, para la optimización de la gestión de mantenimiento en una organización determinada. El AMEF es un método sistemático que permite identificar los problemas antes que estos ocurran y puedan afectar o impactar a los procesos y productos en un área determinada, bajo un contexto operacional dado. Hay que tener presente que la realización del AMEF, constituye la parte más importante del proceso de implantación del MCC, ya que a partir del análisis realizado por los grupos de trabajo MCC, a los distintos activos en su contexto operacional, se obtendrá la información necesaria para poder prevenir las consecuencias o efectos de las posibles fallas, a partir de la selección adecuada de

actividades de mantenimiento, las cuales actuarán sobre cada modo de falla y sus posibles consecuencias. El AMEF busca responder las 5 primeras preguntas básicas del MCC, definiendo así para cada activo sus funciones, sus fallas funcionales, los modos de falla y su efecto de fallas.

2.4.2. Las siete Preguntas básicas del MCC

Basados en norma SAE JA-1011 un MCC debe responder las siete preguntas básicas. Para la resolución de estas preguntas se cuenta con técnicas de confiabilidad como el **AMEF** (Análisis de los Modos y Efectos de las fallas) y **ALD** (Árbol Lógico de Decisión). La primera ayuda a determinar las consecuencias de los modos de falla de cada activo en su contexto operacional, mientras que la segunda permite decidir el tipo de mantenimiento más adecuado, para cada modo de falla. Tal como se muestra en el siguiente Gráfico 2.1.

Gráfico 2. 1: Preguntas Básicas del MCC



Fuente: Norma SAE JA 1011, Criterios de evaluación para procesos RCM, Sección 5

2.4.2.1. Funciones y estándares de Funcionamiento en Unidad Operativa.

La primera pregunta en la secuencia metodológica del RCM es: **¿Cuáles son las Funciones?** dicho de otro modo ¿Para qué sirve el activo bajo estudio? Hay que definir, de manera concisa la función primaria del activo, pero también funciones secundarias relevantes. Por ejemplo, la función de una bomba es transportar fluidos, pero también es contener líquido, aunque aparentemente esto sea secundario; cuando se manejan productos tóxicos, explosivos y peligrosos en general, la estanqueidad puede ser más importante que sus características funcionales primarias.

Acto seguido hay que asociar parámetros a las funciones, cuantitativos, de ser posible refiriéndose a los parámetros relevantes de proceso, por ejemplo:

- **Variables termodinámicas:** presión, temperatura, caudal, densidad, humedad relativa.
- **Variables químicas:** pureza, ph, % mezcla.
- **Variables mecánicas o dimensionales:** espesores, niveles de vibración permitidos, desalineación / desnivelación.
- **Variables acústicas:** nivel de presión sonora
- **Variaciones permitidas de cierto parámetro:** pulsaciones de presión, diferencial de temperatura.

Cuanto mejor definido o parametrizado sea el funcionamiento, la secuencia del análisis RCM será más directa y la selección del tipo de mantenimiento adecuado más fácil. En este lugar hay que destacar el aspecto tal vez más importante de la filosofía RCM: los parámetros de proceso que describan las funciones del activo bajo estudio, tienen que ser valores que debe cumplir el activo, no los que puede dar.

Tabla 2. 2 : Ejemplos Funciones Principales

PARÁMETROS O DESCRIPTORES DEL PROCESO	DESCRIPCIÓN	EJEMPLOS
Múltiples	Varios parámetros que describen el funcionamiento	Calentar 2 Ton de un producto a 126°C en 1 hora.
Cuantitativos	Todo valor de operación. Si no se conoce, no se podrá exigir al Mantenimiento que lo garantice.	Cualquier magnitud física relevante (p, t, caudal, etc.)
Cualitativos	Algunas veces no se puede cuantificar	Respuestas: "ACEPTABLE"
Absolutos	Se aplica a alguna condición imprescindible	Típico para bombas o depósitos: "contener líquido" o similar
Variables	Se refiere a una "ventana de funcionamiento"	P.e.: "la bomba debe dar entre 1000 y 2000 l/h"
Máximo / mínimo	Variaciones dentro de un rango cualitativo	Por ejemplo: "asegurar el máximo nivel posible"

Fuente: Elaboración Propia, Moubray

2.4.2.2. Fallas Funcionales

La segunda pregunta en la secuencia metodológica del RCM es: **¿De qué forma puede fallar?** Es evidente que cualquier desviación operativa del activo de las funciones previamente bien definidas y parametrizadas, constituye un Falla Funcional. He aquí una gran diferencia del enfoque tradicional del mantenimiento que es sensible a la avería, cese total de función.

En una cultura esencialmente reactiva, el nivel de negligencia es alto y se empieza a reaccionar cuando, en muchas ocasiones, los daños y perjuicios ya se han experimentado. Una necesaria sutileza de observación, debe ser reflejada en los procedimientos operativos del Mantenimiento Preventivo, claro está, según los niveles de criticidad.

Si una bomba no da caudal ó presión exactamente según lo especificado en Funciones y Parámetros de Proceso (Según Pregunta 1), es un caso anómalo al que habrá que hacer frente en los pasos subsiguientes del análisis RCM.

Tipos de Fallas Funcionales:

- ✓ **Fallas Parciales o Totales:** Funciona parcialmente y no funciona en ambos casos no cumple los parámetros normales del proceso.
- ✓ **Limites Superiores e inferiores:** Salida de cualquier parámetro del proceso, fuera de los parámetros del proceso.
- ✓ **Fallas de “Falseo”:** Asociado a la instrumentación, pueden dar errores en las lecturas.
- ✓ **Fallas funcionales de contexto Operacional:** Por ejemplo si una bomba tiene una capacidad de 1000 l/min y solo funciona a 900 l/min y si se pone en marcha a una demanda de 850 l/min. No hay Falla funcional. Sin embargo si lo ponemos a una demanda de 950 l/min, si hay Falla funcional. En ambos casos se conocía la capacidad máxima de la bomba.

2.4.2.3. Modo de Fallas

La tercera pregunta en la secuencia metodológica del RCM es: ¿Qué causa la falla? Es, sin duda alguna, el paso más técnico de toda la secuencia del RCM. Se trata de encontrar las causas más probables para cada Falla funcional. En este paso hay que aunar los esfuerzos de distintos participantes expertos en diversas áreas, mecánica, eléctrica, instrumentación, control, etc.

El tema no es trivial en absoluto, porque algunas causas (modos de Falla) son manifestaciones (síntomas) de unos males más profundos o elementales. Por ejemplo, si como Falla funcional declaramos en la bomba en cuestión “presión menor de 10 bar”, suponiendo que el parámetro de proceso correcto son los 10 bar.

Los modos de Falla pueden ser diferentes; si se establece como modo de Falla (causa) “avería de bomba” y como la “causa de esta causa” desgaste de rodete, y luego en el siguiente “ejercicio de profundización”, causa de esta causa”, cavitación (puede haber otras dos causas de raíz, abrasión o corrosión), la problemática es diferente. Si la causa más primitiva es la cavitación, probablemente se trata de un Falla de ingeniería debido al cálculo incorrecto o algún estrangulamiento en la succión o también temperatura de evaporación del líquido más baja etc.; si la causa primitiva es la corrosión, la cuestión es de un material inadecuado para el fluido que se maneja; si la cuestión de raíz es la abrasión, pueden haberse mezclado con el fluido algunos sólidos en forma de contaminante.

La “Hoja de AMEF” es un documento, donde recomendable subdividir la columna de modos de Falla en tres niveles: **nivel A, nivel B, nivel C**; por supuesto, no necesariamente hay que desglosar siempre hasta el tercer nivel; también a veces, la complejidad es tal que no basta profundizar a tres niveles. Es lo más engorroso del RCM.

Para facilitar el progreso en este crítico paso del RCM, que suele ser un auténtico escollo y donde se consume la mayor parte del tiempo de análisis y por lo que muchos han desistido declarando el RCM demasiado engorroso, se recomienda:

- ✓ **Considerar como caso de clasificación nivel A**, Fallas de los activos a nivel general, por ejemplo: Falla motor, Falla bomba, Falla variador, Falla instalación, Falla depósito etc.
- ✓ **La clasificación a nivel B** desglosa el nivel A en componentes y elementos. En el caso de una bomba, serían: Falla de rodamiento, Falla de empaquetadura o cierre mecánico, sobrecalentamiento, devanados etc.

- ✓ **La clasificación a nivel C**, si precisa, descendería aun más: mal montaje de rodamientos, Falla de lubricación, entrada de suciedad, humedad, rotura por desgaste o fatiga; también hay que salirse a veces de la tesitura técnica, puede ser Falla de maniobra; válvula accidentalmente cerrada, etc.

En la siguiente Tabla 2.3 se presenta el caso de Modos de Falla de un motor de velocidad variable desglosado a tres niveles:

Tabla 2. 3 : Modo de Falla

MODO DE FALLA		
CLASIFICACION NIVEL A	CLASIFICACION NIVEL B	CLASIFICACION NIVEL C
Fallo de variador	Por Regulacion	
	Por Potencia	
Fallo Motor	Rotura de eje	
	Fallo de Rodamientos	Mal Montaje
		Fallo de Lubricacion
		Entrada de suciedad o agua
	Sobrecalentamiento	Suciedad en las aletas de enfriamiento de la carcasa del motor

Fuente: Elaboración Propia, Moubray

2.4.2.4. Efectos del Falla

La cuarta pregunta en la secuencia metodológica del RCM es: ¿Qué sucede cuando falla (efectos)? Se refiere a los efectos de cada uno de los modos de Fallas.

No confundir con las consecuencias de Falla. Los efectos de Falla responden al preguntar ¿qué ocurre?, mientras las consecuencias de Falla responden a la pregunta ¿qué tanto importa el efecto? Cuando se rellena el formato de AMEF, en la columna efectos de Falla hay que anotar de manera concisa:

- ✓ ¿Cuál es la evidencia (si existe) del Falla ocurrido?
- ✓ ¿De qué manera (si procede), el Falla amenaza la seguridad y medio ambiente?

- ✓ ¿De qué manera (si procede) afecta la producción y operaciones en general, o si origina daños secundarios?
- ✓ ¿Qué daño físico (si alguno) origina en el sistema?
- ✓ ¿Qué dificultades (si alguna) habrá para reparar el daño a mantenimiento?

2.4.2.5. Consecuencia de Fallas

La quinta pregunta en la secuencia de la metodología. Cuáles son las consecuencias de los Fallas? La gestión de consecuencias de Fallas, representa más que la simple predicción, prevención o mejora en sí. Es decir, puede matizarse la anterior pregunta: ¿qué secuela práctica tendría el Falla si no se hiciera nada para detectar, predecir o prevenirlo? El Mantenimiento Proactivo moderno, está dirigido hacia la eliminación o disminución de consecuencias negativas de Fallas, más que hacia la prevención de los mismos.

En la metodología RCM suelen subdividirse las consecuencias de Fallas en las siguientes categorías:

1. Seguridad y medio ambiente.
2. Impacto en la producción.
3. Impacto en el mantenimiento.
4. Falla oculto (no evidente para el personal operativo en condiciones normales)
5. Consecuencias no operacionales.

2.4.2.5.1. Valoración de cada Falla

A cada modo de Falla hay que asignarle un Numero Ponderado de Riesgo (NPR) que conducirá al analista en la selección adecuada de métodos de predicción, prevención o detección de Fallas y también las necesidades de

mejora. Es la típica valoración de un AMEF, tanto de proceso como de diseño, aunque en el caso de MCC está orientado hacia el control de Fallas y/o sus consecuencias.

A. Gravedad

Tabla 2. 4 : Valoración de Gravedad

GRAVEDAD	
Valor	Descripción
1	Las consecuencias del fallo son despreciables. Ninguna trascendencia para la seguridad y afines, producción y calidad. Eventualmente pueden tener alguna mínima consecuencia para el coste directo del Mantenimiento. Valor 2 y 3: No hay consecuencias para seguridad y afines, producción y calidad; puede tener alguna consecuencia baja o moderada para los costes directos del mantenimiento.
4, 5 o 6	Los efectos tienen consecuencia importante en los costes directos del mantenimiento y una pequeña influencia adversa en la producción y/o calidad, pudiendo causar paradas cortas no programadas, ciertas mermas o rechazo de calidad. Pueden causar pequeños fallos secundarios ocultos de poca importancia. Ninguna influencia en la seguridad y medio ambiente.
7 y 8	Importante impacto del efecto de fallo en la producción y/o calidad y/o elevados costos directos de mantenimiento. También se consideran en este rango importantes fallos en cadena ocultos. Se consideran también pequeños o moderados efectos negativos para la seguridad y afines.
9 y 10	Se trata de graves consecuencias para seguridad y afines. También entran interrupciones muy costosas por concepto de impacto en la producción y/o calidad.

Fuente: Elaboración Propia, Moubray

B. Frecuencia de Falla

Si se dispone de datos históricos, pueden analizarse los MTBF. Pueden hacerse análisis tipo Weibull u otros, en casos muy críticos. También pueden ayudar los datos del fabricante. En la mayoría de los casos ocurridos se aplica la estimación por experiencia.

Tabla 2. 5 : Valoración de Frecuencia de Falla

FRECUENCIA DE FALLO	
Valor	Descripción
1	Tasa de fallos: menos de 1 en más de 10 años.
2	Tasa de fallos: entre 1 y 3 en más de 10 años.
3	Tasa de fallos: entre 1 y 3 en 10 años.
4	Tasa de fallos: entre 1 y 3 en 5 años.
5	Tasa de fallos: entre 1 y 3 en 2 años.
6	Tasa de fallos: entre 1 y 3 por año.
7	Tasa de fallos: entre 1 y 3 cada seis meses.
8	Tasa de fallos: entre 1 y 3 cada dos meses.
9	Tasa de fallos: entre 1 y 3 cada semana.
10	Tasa de fallos: entre 1 y 3 por día.

C. Detectabilidad

Este aspecto es uno de los principales méritos del RCM. Hasta un 40% de Fallas en una industria de procesos altamente automatizada son de tipo oculto. Además, el diagnóstico acapara hasta un 80% del tiempo total de reparación. Por lo tanto, actualmente más de un tercio de actividades de mantenimiento pueden canalizarse hacia el diagnóstico de Fallas ocultos.

El tema de la detectabilidad es la clave para seleccionar correctamente el método de mantenimiento.

Tabla 2. 6 : Valoración de Detectabilidad

DETECTABILIDAD	
Valor	Descripción
1	No hay ninguna duda de que el fallo será detectado de inmediato, por cualquier persona y sin ambigüedad.
2	La detección es prácticamente certera. Probablemente habrá que verla algún técnico u operario especializado.
3,4,5	: La detección es razonablemente fiable. Hay que aplicar algún método, técnica o instrumento y/o tardar algún tiempo en diagnosticar definitivamente.
6,7,8	La detección entraña riesgos de no acertar, se necesitan medios y tiempo relativamente largo para diagnosticar el fallo.
9,10	La detección es extremadamente difícil, o prácticamente inviable en las condiciones tecnológicas actuales.

Fuente: *Elaboración Propia, Moubray*

D. Número Ponderado de Riesgo (NRP)

Se multiplican los valores de **Gravedad x Frecuencia de Falla x Detectabilidad** y se obtiene el NPR para cada modo de Falla. Su utilidad consiste en alertar en menor o mayor medida al analista a reforzar los métodos de mantenimiento. Aunque no es necesario cuantificar cuánto mantenimiento es necesario para cada nivel de NPR, la influencia de un mayor NPR puede requerir de:

- ✓ Mejoras constructivas para favorecer la detectabilidad.
- ✓ Mayor número de métodos cruzados para el diagnóstico técnico o
- ✓ Mantenimiento Predictivo (mayor fiabilidad de diagnóstico).

- ✓ Gamas preventivas más exhaustivas y/o frecuentes.
- ✓ Materiales y elementos de máquinas de mayor calidad.

2.4.2.6. Actividades Proactivas para prevenir los Fallas

Una vez que se han analizado las causas y efectos de las causas de Fallas provocados en máquinas e instalaciones y ponderado el riesgo, se debe responder a la pregunta **¿Qué se puede hacer para prevenir o predecir una falla?** Lo que se pretende es prevenir el efecto y que las repercusiones a la seguridad, medio ambiente, calidad del producto, indisponibilidad de instalaciones por paradas de máquinas (producción) y mantenimiento realizado, sean las mínimas. Con todo ello, una buena implantación del sistema descrito lleva a una reducción de costos, que es la base de la filosofía de la implantación del MCC.

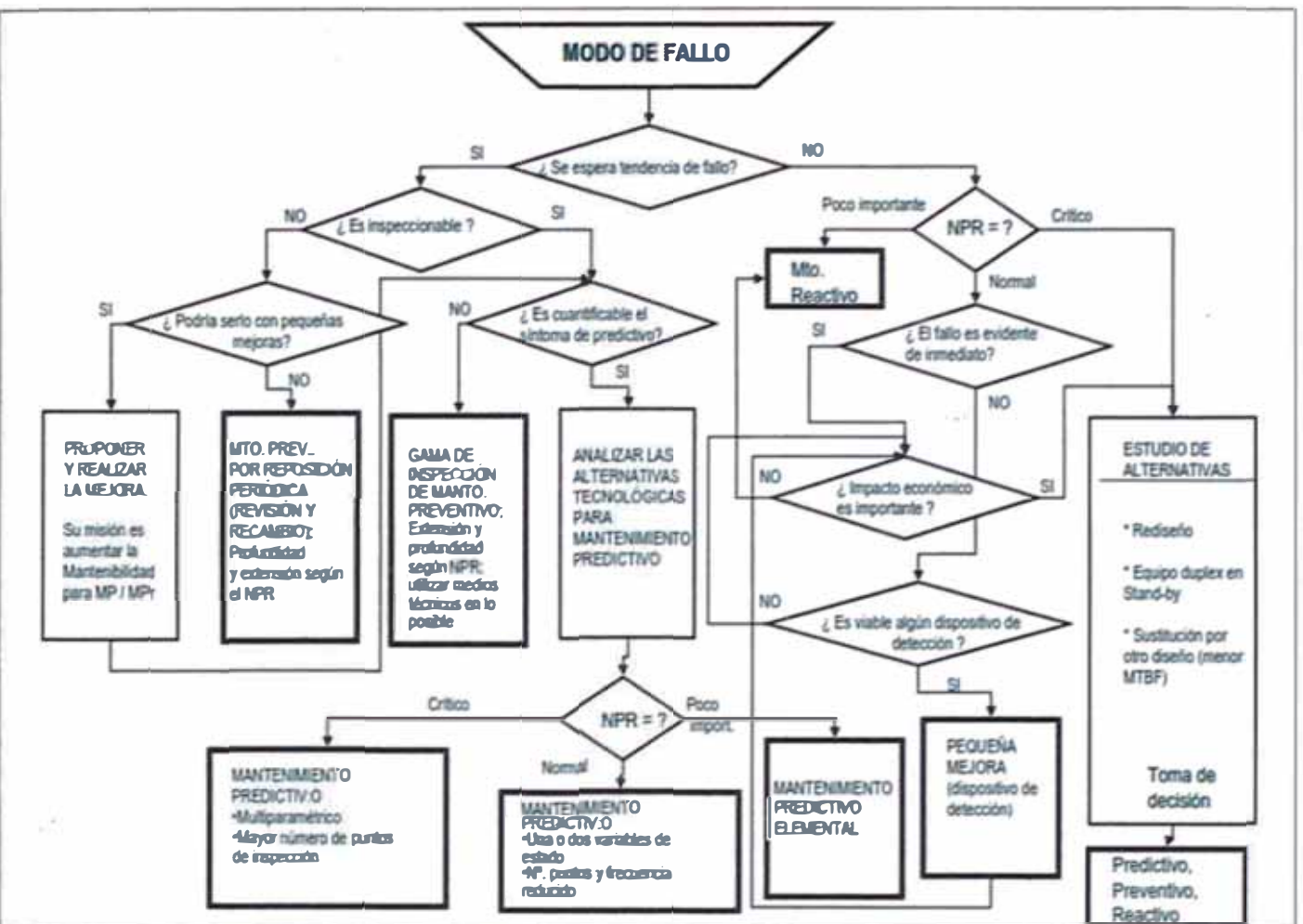
Veamos el algoritmo del MCC, depende de:

- ✓ Detectabilidad.
- ✓ Tendencia que pueda acusar la anomalía.
- ✓ Facilidad de aplicar técnicas predictivas y preventivas.
- ✓ Criticidad del activo.

En el diagrama de flujo, se observa que definiendo tres rangos de NPR puede encauzarse las decisiones sobre los tipos de mantenimiento. Los valores de NPR pueden variar desde 1 (valor mínimo) hasta 1000 (valor máximo). Pueden clasificarse, por ejemplo, los siguientes rangos:

- i. Poco Importante: $NPR < 100$
- ii. Normal: 100 a 299
- iii. Crítico: 300 a 699
- iv. Muy Crítico: 700 a 1000

Gráfico 2. 2 : Gráfico de Algoritmo de MCC



Fuente: Moubroy

Una vez se ha definido en la hoja AMEF, todas las posibles formas en las que puede dejar de cumplir las funciones el sistema que se esté estudiando, es necesario definir las acciones que se deben llevar a cabo para prevenir

dichas formas de fallar. Para ello se muestra en una tabla la hoja Matriz de Decisiones; donde se definirá qué acciones, con qué tecnologías y con qué frecuencias se intervendrá en el sistema para tener la mayor fiabilidad de no aparición de ninguno de los modos de Fallas que se han definido en la Hoja AMEF. Existen tipos de mantenimiento definidos:

- a) **Mantenimiento Predictivo:** Se utiliza ese tipo de mantenimiento, cuando se puede cuantificar numéricamente variables que determinan el funcionamiento de un equipo. Los valores de dichas variables se guardan y se dispone de un registro en el tiempo de la evolución de los valores; así cuando llega a un punto se puede determinar un nivel de alarma, definido como zona peligrosa del valor de la variable y cuando aumenta dicho valor llega a un valor no aceptado o de paro del sistema. La evolución de los valores siguen tendencias con las cuales se puede prever los valores y tomar acciones antes de que surjan las averías destructivas del sistema.

- b) **Mantenimiento por inspección:** Se utiliza ese tipo de mantenimiento, cuando no se puede cuantificar numéricamente ninguna variable, pero se puede inspeccionar el estado cualitativo del elemento o componente del equipo de estudio. Se deberá especificar el tipo de inspección que se requiere y su frecuencia.

- c) **Mantenimiento Preventivo (PM):** Se utiliza ese tipo de mantenimiento, cuando no se puede cuantificar numéricamente ninguna variable, ni el elemento o componente son **inspeccionables**, pero se conoce con qué frecuencia se debe hacer la actuación sobre el equipo. Se especificará en este caso la operación a hacer y la frecuencia necesaria que se establezca.

d) **Rediseño o mejora:** Cuando no es aplicables ninguno de los mantenimientos anteriores, esto quiere decir que se debe hacer un rediseño o mejora en el equipo. Esta opción tendrá sentido en el momento que el mantenimiento que se necesite suponga un costo muy alto o una dificultad extrema producto del diseño del propio producto. En este caso, y sólo si hay opción de mejorar rediseñando, se opta por esta opción.

CAPÍTULO III

PROCESO DE TOMA DE DECISIONES

3.1. IDENTIFICACION DE PROBLEMA.

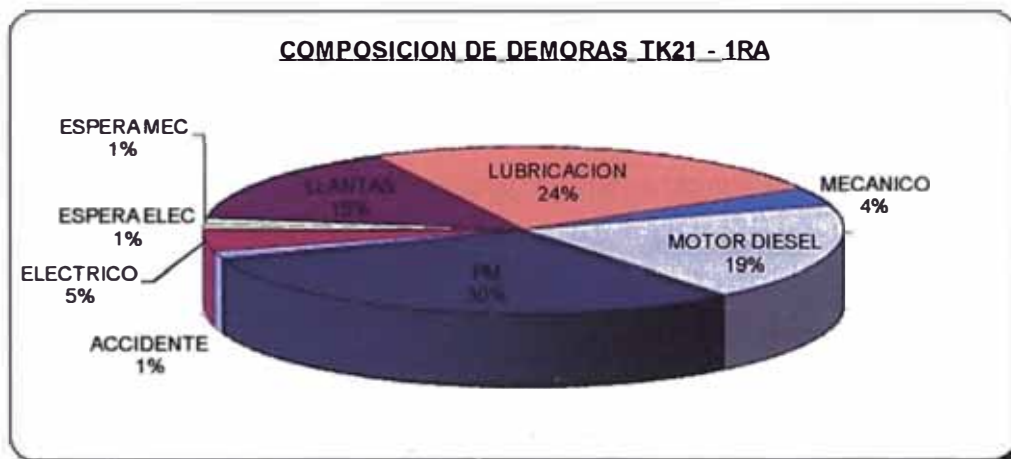
Durante el planeamiento de minado también se programan los equipos disponibles para cumplir con los objetivos del plan que Mina debe abastecer de mineral al área de la Concentradora, para ello es necesario el transporte del mineral hacia la chancadora primaria por medio de Camiones de acarreo, existen 3 tipos de camiones los CAT 793, Komatsu 830E y Komatsu 930E, siendo estos últimos los que más transportan (cargan hasta 320 Ton), por ello son los más críticos. Esta flota tiene como fuerza motriz principal a sus motores QSK60 Diesel quienes abasteces de energía a los demás sistemas del camión. Sin embargo en las operaciones de acarreo algunos camiones se detienen por fallas en el motor, lo que origina su baja en la disponibilidad. Traduciéndose en altos costos por:

- ✓ Parada de equipos,
- ✓ Incumplimiento en las metas del plan de minado y acarreo.
- ✓ En caso se quiera una solución rápida los proveedores de motores pueden alquilar sus motores o en su defecto venderlos, pero la capacidad de negociación se ve reducida al aceptar dicho motor antes negociar precios, siendo en ambos casos costoso.
- ✓ Cuando el Motor esta dentro de la Garantía, se hace una investigación de Fallas o fallas catastróficas. Si el proveedor descubre que no se cumplió el plan de mantenimiento según el

manual de servicio del proveedor, entonces se pierde la garantía. Así la empresa tiene que asumir la reparación.

Veamos por ejemplo al Equipo TK21 con Motor QSK60 serie 33162466, cuyo porcentaje de permanencia del motor solo fue del 45% (9,082 Horas) y salió por ruptura de Biela 5R, 5L y Ruptura de Block, donde presenta el siguiente porcentaje en las demoras producto de fallas clasificadas como se muestra en el siguiente Gráfico:

Gráfico 3. 1 : Composición de demoras TK21



Fuente: Elaboración Propia, datos Dispatch Mina Toquepala

Podemos notar que el porcentaje de demoras a causa de fallas del Motor es del 19%, tiempo que representa un costo muy alto a la operación.

Causas:

i. Métodos:

- ✓ No existe un buen sistema documentario sobre reparaciones de motor, y si existe alguno no se actualiza. Lo que origina que

sea más propenso a que no se hagan todos los pasos o revisiones en cada sistema en el mantenimiento programado

- ✓ Órdenes de Compra retrasados, por retrasos en los niveles de aprobación
- ✓ Una gran cantidad de Trabajos en estado Backlog.
- ✓ Métodos de análisis del Área de Mantenimiento Predictivo deficiente, pues muchas veces no se detectan fallas inminentes.
- ✓ No hay Comunicación adecuada entre Mantenimiento Mina y el Área de Mantenimiento Predictivo.
- ✓ Análisis de fallas deficiente, pues la investigación no tiene una metodología definida y difundida entre los trabajadores. Así también no existe un procedimiento o instructivo sobre el registro detallado sobre fallas en los motores. Por lo tanto hay deficiencias en el registro de fallas de los motores.
- ✓ Incumplimiento en las horas destinadas a Mantenimiento Preventivo.
- ✓ Trazabilidad de los motores deficiente

ii. Materiales

- ✓ No se cuenta con todos los repuestos de dichos motores, por lo que se tiene que comprar repuestos en forma urgente (Compras por Cargo Directo) ajustándose a las condiciones del proveedor
- ✓ La calidad de los repuestos y en mismo motor, a veces no cumple con la garantía del motor.

iii. Medio Ambiente

- ✓ Sobre esfuerzos del motor en temporada de lluvias, suelo arcilloso.

- ✓ Caída de Rocas. Desnivel entre los pisos escalonados.
- ✓ Neblinas y poca visibilidad podría ocasionar choques, volcaduras, dañando así al motor.

iv. Mano de Obra

- ✓ Personal que opera los equipos no toman la importancia en la reparación del equipo malogrado, muchas veces no colabora en la investigación de las fallas.
- ✓ Falta de capacitación continua en la difusión de procedimientos o en su defectos charlas dadas por los jefes de cuadrilla o jefes de flota.
- ✓ Resistencia al cambio, pues el personal que es antiguo piensa que tiene la razón.
- ✓ Desconfianza, pues el personal piensa que si dicen la verdad de las causas puedan ser objetos de sanciones.

v. Maquinarias

- ✓ Poca inspección al estado de las herramientas, muchas veces el personal tiene que fabricar herramientas hechizas.
- ✓ Falta de disponibilidad de Grúas de alto tonelaje, para el cambio y reparación de motor.
- ✓ Tiempo en reparación a veces excede el tiempo estimado.
- ✓ Calidad del Motor

Todas las causas anteriores lo podemos resumir en el siguiente diagrama de Causa Efecto, Gráfico 3.2

Diagrama de causa Efecto

Gráfico 3. 2 : Diagrama Causa Efecto

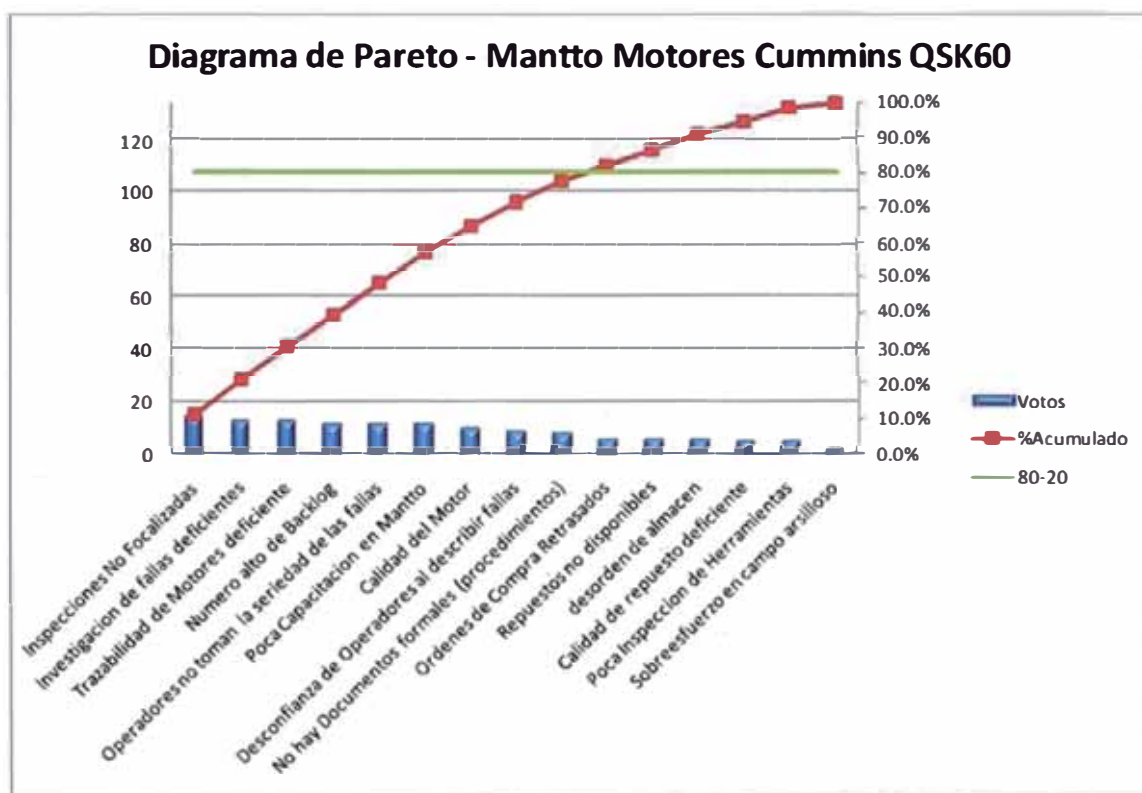


Fuente: Elaboración Propia

Con lo cual se concluye que el problema principal es que existe un Mantenimiento Deficiente en los motores Cummins QSK60 de la Flota Volquetes 930E.

Para determinar las causas principales del problema se hizo una encuesta (detallando todas las causas mostradas en el **Gráfico 3.2**) a 15 personas entre jefes de taller volquetes, planner de mantenimiento, jefes generales y mantenimiento predictivo. Obteniéndose el siguiente resultado, **Gráfico 3.3**

Gráfico 3.3 : Pareto Mantenimiento Motores Cummins QSK60



Fuente: Elaboración Propia, encuesta

3.2. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS DE SOLUCION

Para la solución del problema se propone dos alternativas de solución

3.2.1. Tercerización de Reparación de Motores

La tercerización de función del mantenimiento es recomendable cuando esta actividad no forma parte del “*core competence*” o cuando los costos se reduzcan. Si bien es cierto la tercerización del mantenimiento trae estos beneficios también hay que notar que puede traer algunos riesgos como:

- a) Pérdida de habilidades críticas: La organización puede perder fácilmente habilidades críticas de ejecución de actividades y gestión de mantenimiento que puedan afectar el futuro del desempeño de las operaciones de la mina.
- b) Pérdida de Comunicación entre Unidades: Es posible que la información dada por la empresa que realiza la tercerización no fluya hacia otras áreas de la Unidad minera que requieran la información para operar.
- c) Pérdida del Control sobre el Proveedor: Debido a la alta dependencia sobre sus servicios.

Al decidir traspasar ciertas actividades a verdaderos especialistas, se piensa que dichos proveedores contribuirán a mejorar el resultado global de la empresa que los contrata, fundamentalmente a través del logro de éxitos en dos aspectos básicos: la calidad de servicio y el costo. Que impactara directamente en la disponibilidad de los equipos de la Mina.

Tales beneficios surgirán, teóricamente, del desarrollo más eficiente de las actividades tercerizadas efectuadas por los especialistas que conocen mucho mejor la forma de gestionarlas. Esta ventaja diferencial les permitirá brindar un producto mejor (en términos de calidad) y a un precio menor al costo de hacerlo internamente.

Para determinar la elección para elegir o no a un proveedor en mantenimiento ver debemos ver el **Anexo 16** en el cual se detalla paso a paso el proceso.

3.2.2. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC) para los Motores SQK60

El desarrollo de este tema ya lo hemos explicado claramente en el capítulo II, y según ello se usa el MCC porque permite asociar los riesgos del negocio con las fallas de activos. Con lo cual los beneficios a grandes rasgos son:

- ✓ Mejorar la Seguridad, en Salud y Medio Ambiente.
- ✓ Mejora el rendimiento operacional de los activos.
- ✓ Mejorar la relación Costo/Riesgo-Efectividad del mantenimiento
- ✓ Sean documentados y auditables.
- ✓ Se tiene control estratégico de los equipos críticos.

Con esto el MCC básicamente busca definir estrategias de mantenimiento que son aplicables a las características de la falla así como mitigar las consecuencias de la falla.

Toda esta gestión de mantenimiento debe basarse en evaluaciones cualitativas y cuantitativas, por lo que se tomara en cuenta los siguientes puntos:

- ✓ Determinación de las criticidades de los equipos
- ✓ Costo de reparación en Taller (Mano de obra, Compra de repuestos, Tiempo de reparación, calidad de servicio)
- ✓ Costo por pérdidas por paradas.

3.3. SELECCIÓN DE UNA ALTERNATIVA DE SOLUCION

La selección de la alternativa de solución lo haremos en base a una matriz de factores que se consideren importantes en la toma de decisiones, desde el nivel estratégico al operativo, lo cual se muestra en la siguiente metodología de decisión:

Determinación de la escala de calificación:

Tabla 3. 1 : Valoración de Calificación alternativas

Puntaje Asignado	Significancia
5	Excelente Desempeño
4	Buen Desempeño
3	Regular, Aceptable Desempeño
2	Mal Desempeño
1	Pesimo Desempeño

Así también existe una escala de nivel de importancia de cada factor, para lo cual se asigna un “peso” de factor, que van de la escala de 1 a 10 según el grado de importancia (10 Extremadamente Crítico, 1 es nada crítico ni Importante). Se debe notar que después se tiene que colocar en la tabla el Peso de factor en porcentaje de importancia

Para la calificación se deberá seguir la siguiente fórmula:

$$Puntaje\ Final = \sum(Puntaje\ Asignado\ a\ Factor \times \%Peso\ de\ Factor)$$

Veamos en análisis en la siguiente **tabla 3.2**:

Tabla 3. 2 : Evaluación de alternativas

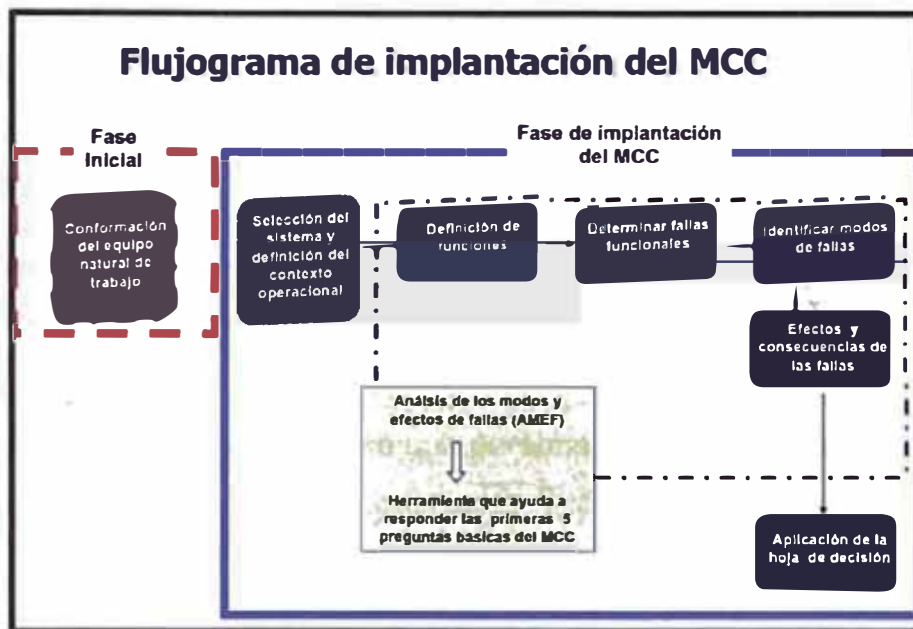
Factor	Peso	%Peso	Tercerizar el Mantenimiento en Moto		MCC en Motores	
			Calificacion	Puntaje	Calificacion	Puntaje
Alineamiento con las estrategias Empresariales, Compras futuras de Equipos	9	8.11%	3	0.24	5	0.41
Fluidez de la Información referente al mantenimiento y Motivo de fallas de Motores	7	6.31%	3	0.19	4	0.25
Poder de Negociación, Control del proveedor, dependencia	9	8.11%	1	0.08	4	0.32
Costo de Adquisición de Motores	9	8.11%	2	0.16	5	0.41
Penalidades por Lucro cesante	10	9.01%	4	0.36	2	0.18
Confiabilidad y disponibilidad	8	7.21%	4	0.29	4	0.29
Aprendizaje Organizacional	5	4.50%	2	0.09	4	0.18
Seguridad y Salud Ocupacional	5	4.50%	3	0.14	3	0.14
Capacidad Instalada, Taller y Herramientas	4	3.60%	2	0.07	5	0.18
Mano de Obra Calificada	6	5.41%	4	0.22	4	0.22
Disponibilidad de Repuestos de Motores	6	5.41%	4	0.22	3	0.16
Escala de costos por Reparaciones y Mantenimientos	9	8.11%	2	0.16	4	0.32
Tiempo de Reparación	7	6.31%	4	0.25	4	0.25
Flexibilidad, Libertad de elegir Repuestos Sustitutos	8	7.21%	2	0.14	5	0.36
Costo Inventarios	6	5.41%	4	0.22	3	0.16
Costo de Implementación, Recursos	3	2.70%	4	0.11	2	0.05
	111	100.00%	Puntaje Total		Puntaje Total 3.88	

Fuente: Elaboración Propia

Según los factores analizados, vemos el puntaje total mas alto corresponde a implementar el sistema de Confiabilidad basado en la Confiabilidad de Motores QSK60 de la flota 930E Komatsu.

3.4. PLANES DE ACCION PARA DESARROLLAR LA SOLUCION PLANTEADA

Para el desarrollo de implementación es necesario seguir los siguientes pasos del flujograma:



3.4.1. Conformación del Equipo natural de Trabajo

El equipo de trabajo estará conformado por las siguientes áreas y/o partes:

- ✓ **Operador:** Los que operan los equipos (donde está el motor) estos pertenecen al área de Operaciones Mina. Se sugiere que sean estos quienes den la calificación del desempeño del motor, y si llegara a fallar alimentar al sistema Dispatch de la manera mas concisa posible, así como participar en la investigación de las fallas.

- ✓ **Jefe de la Flota Camiones:** Estos con la experiencia en mantenimientos y reparaciones son los que llevan a cabo estas actividades pero tomando en cuenta las recomendaciones y los procedimientos dadas por el equipo multidisciplinario de MCC.
- ✓ **Planeamiento del Mantenimiento:** Tomando en cuenta el número de horas de trabajo, Análisis de Modo de Efectos y Fallas se realizara la programación de las tareas de mantenimiento.
- ✓ **Área de mantenimiento Preventivo de mantenimiento Mina:** que mediante el análisis de los Motores por condición pueda emitir un informe sobre el estado real de las piezas del motor, y sus posibles fallas.
- ✓ **Especialistas en Motores:** Eventualmente según la criticidad de las tareas de mantenimiento se tomara la ayuda de los especialistas, estos pueden ser los mismos proveedores o asesores externos.
- ✓ **Facilitador:** Generalmente una persona designada a tiempo completo a la implementación, seguimiento y control. Esta persona deberá conocer los procesos a detalle, así como la metodología en cuestión

3.4.2. Selección del sistema y definición del contexto Operacional

Según el planteamiento del problema, vimos que uno de los motivos principales de las paradas de los equipos son a causa de las fallas de los motores por ello el sistema principal a analizar seria los motores QSK 60 de la flota de camiones KOMATSU 930E, que son en total 19 camiones (tal como se aprecia en la **Tabla 1.2**).

3.4.2.1. Sistema de Motor QSK60

3.4.3. Definición de Funciones

La Flota de camiones que cuenta con este motor QSK60 son en total 19, dicho motor se encarga de la generación de energía para todos los sistema del camión Komatsu 930E con la finalidad de cargar y transportar 320 Ton (con la Tolva modificada), que en un día de trabajo normal puede hacer 9 viajes (desde el tajo hacia el chute, chancadora primaria) que entre los 19 camiones hacen un total de $9 \times 320 \times 19 = 54,720$ Ton representando casi el 70% del carguío total de los equipos (que en total suman 80,000 Ton aprox.)

El Motor debe generar 2700 hp de fuerza que tendrán que alimentar:

Alternador: Estructura de corriente alterno con un apoyo, instalada en el bastidor del motor, el modelo del alternador es SGD-101 que genera una potencia de 1400 Kw. **Figura 3.1**

Motor Eléctrico de Tracción: Motor eléctrico incorporado en araña de rueda cada rueda, motor modelo AK590 con una potencia de 590 Kw.

Figura 3. 1 : Motor Cummins , Motor Tracción

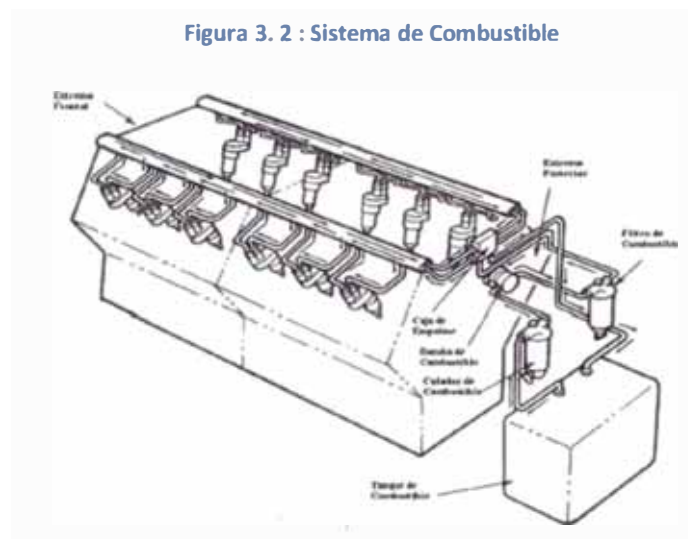


Fuente: Manual de Operación y Mantenimiento Cummins QSK60

Para llevar a cabo la función principal antes descrita, es necesario subdividir al Sistema en los 5 subsistemas y describir a cada uno de ellos:

Funcionamiento del Sistema de Combustible:

El combustible es aspirado del tanque de combustible a través de un filtro y entra a la bomba de combustible, por el lado de succión. Al salir de la bomba bajo presión, el combustible es forzado a través de los filtros. De los filtros, el combustible es dirigido a una caja de empalme, de donde es redirigido entonces a los múltiples de combustible de admisión de los inyectores de cada lado del motor. De los múltiples de combustible, éste llega al inyector por medio de unas tuberías de entrada del combustible, **Figura 3.2**



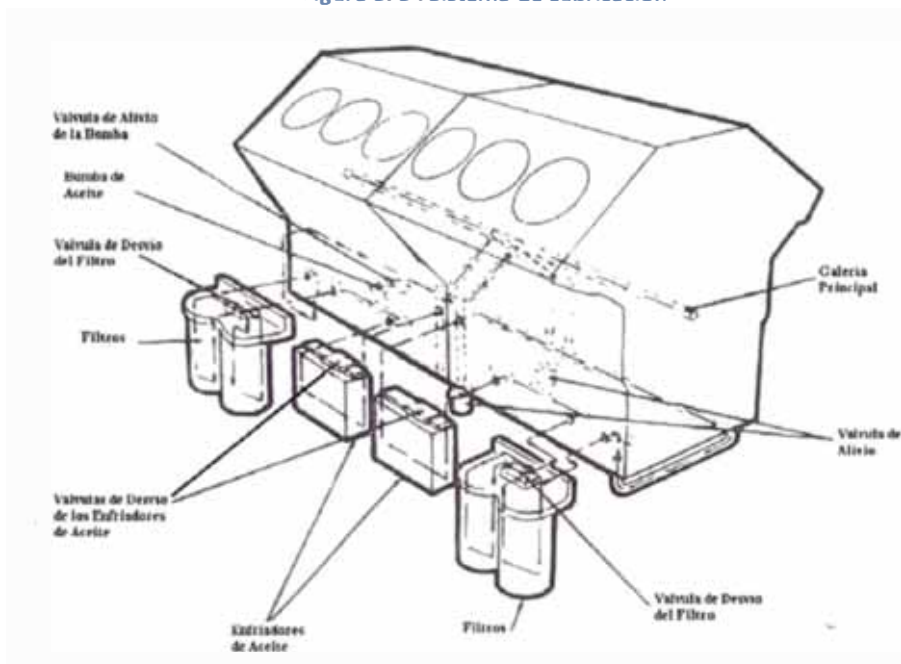
Fuente: Manual de Operación y Mantenimiento Cummins QSK60

Funcionamiento del Sistema de Lubricación

En el funcionamiento de éste sistema el aceite es aspirado desde el cárter a través del tamiz de admisión y dirigido a la bomba del aceite donde es sometido a presión, tal como se aprecia en la Figura 3.3. El aceite luego pasa a una galería corta en el bloque de cilindros y después a los filtros de aceite. Al mismo tiempo el aceite se dirige de la bomba a una válvula resorte de alivio de la presión montada en la bomba de aceite. Del filtro de aceite, éste regresa al bloque de cilindros donde un pasaje lo lleva al enfriador de

aceite. Luego este es redirigido a un pasaje perforado verticalmente en el bloque de cilindros a la galería principal de aceite.

Figura 3.3 : Sistema de Lubricación



Fuente: Manual de Operación y Mantenimiento Cummins QSK60

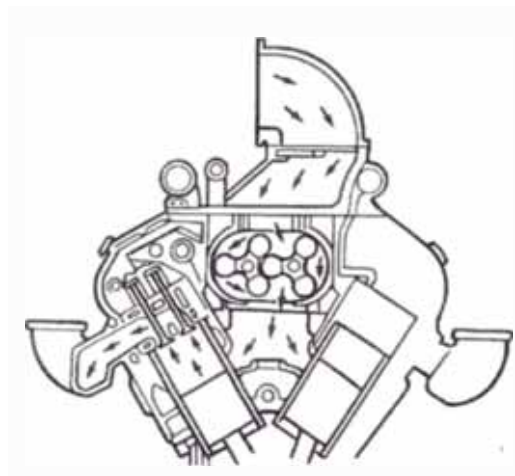
La presión del aceite se mantiene regulada por una válvula que si excede los 55 psi se abre descargando el exceso al Carter. El flujo de aceite es por todo el motor lubricando al cigüeñal, árbol de levas, pistones, bielas, sellos, engranajes de todo el motor, válvulas de escape y admisión.

Sistema de admisión de aire

El conjunto del sistema de admisión de aire es el encargado de suministrar el aire fresco necesario para una combustión eficiente, y barrer todos los gases quemados del interior de los cilindros.

En el sistema de admisión de aire, se fuerza una carga de aire desde el exterior a través de un turboalimentador, **Figura 3.4**, que lo comprime y lo entrega a un depurador de aire, donde es tomado por los lóbulos del rotor del soplador o blower donde nuevamente es comprimido y llevado al lado de descarga de éste mismo.

Figura 3. 4 : Sistema de Admisión de Aire



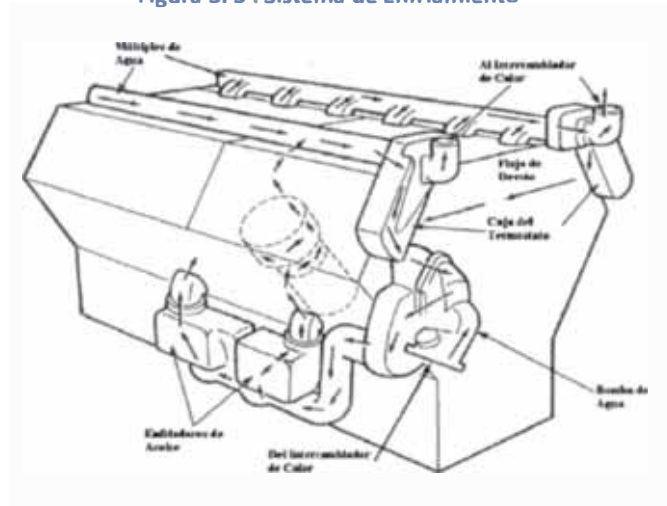
Fuente: Manual de Operación y Mantenimiento Cummins QSK60

Funcionamiento de Sistema de Enfriamiento

El refrigerante es sacado por medio de la bomba de agua fresca del intercambiador de calor y es forzado a través del enfriador del aceite del motor, el bloque de cilindros, las culatas, el múltiple de escape y los múltiples de agua a las cajas del termostato. Una conexión de desvío desde las cajas del termostato al lado de la entrada de la bomba de agua permite la circulación del refrigerante por el motor mientras que los termostatos están cerrados. Cuando se abren los termostatos, el refrigerante puede fluir por el intercambiador de calor y luego, después de haber sido refrigerado, a la bomba de agua fresca del motor para su recirculación.

Cuando las válvulas de los termostatos están completamente abiertas el rango de temperatura del refrigerante debe oscilar entre 85°C y 95°C, **Figura 3.5**

Figura 3. 5 : Sistema de Enfriamiento



Fuente: Manual de Operación y Mantenimiento Cummins QSK60

Funcionamiento de Sistema del Sistema Eléctrico

El sistema eléctrico de un motor Cummins QSK60 consiste principalmente de un motor de arranque, un alternador de carga de baterías y baterías. Cuyo funcionamiento principal es arrancar al motor, proporcionar carga durante el funcionamiento del motor y la recarga de las baterías (que en el arranque accionan al motor de arranque).

3.4.4. Determinación de fallas Funcionales

La segunda pregunta: Como se puede dejar de cumplir las funciones?. El motor puede dejar de cumplir su misión principal se es que algún sistema del motor muestre una falla funcional.

Para la determinación de las principales fallas funcionales hemos tomado la muestra de los siguientes 7 camiones, **Tabla 3.3**:

Tabla 3. 3 : Tabla de Fallas Funcionales

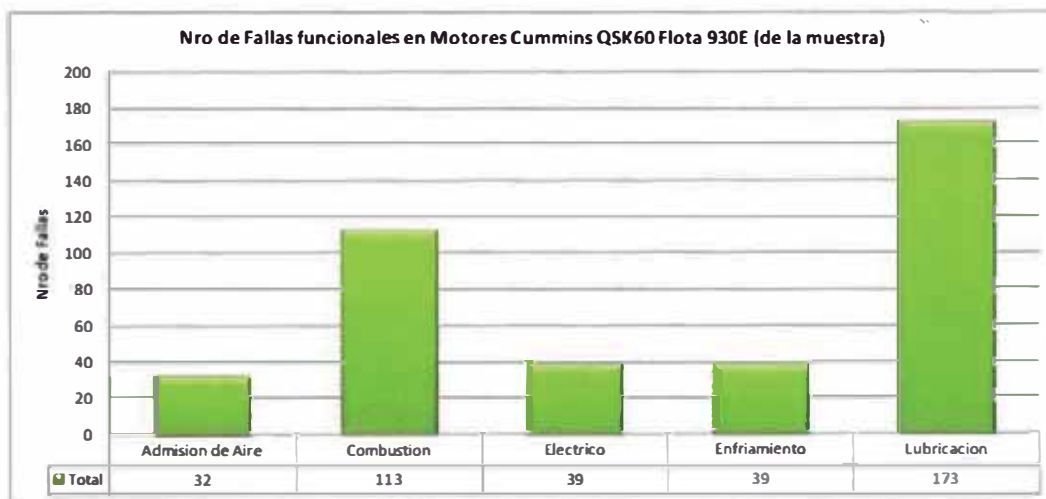
Codigo Dispatch	Camion	Marca Motor	Serie Motor	Fecha Instalacion	Fecha Salida	% Uso	Horas
T14	Komatsu 930E	Cummins QSK60E	33155712	19-oct-07	15-may-08	19%	3,798.00
T16	Komatsu 930E	Cummins QSK60E	33156893	20-mar-08	24-oct-08	21%	4,116.00
T18	Komatsu 930E	Cummins QSK60E	33161264	02-feb-06	19-abr-09	110%	22,650.00
TK21	Komatsu 930E	Cummins QSK60E	33162466	02-dic-06	04-mar-08	45%	9,082.00
TK22	Komatsu 930E	Cummins QSK60E	33159830	21-dic-06	29-mar-07	10%	1,940.00
TK23	Komatsu 930E	Cummins QSK60E	33156893	26-ene-09	10-jun-09	13%	2,623.00
TK27	Komatsu 930E	Cummins QSK60E	33167929	06-ago-07	04-jun-08	30%	6,021.00

Fuente: Elaboración Propia, datos Dispatch

Se ha tomado la información del sistema dispatch, **Anexo 15**, donde se detalla el motivo de las paradas del Volquete, pero para fines de este informe se tomo solo las paradas por fallas de motores.

Por lo tanto de estos motores en análisis se ha encontrado las siguientes fallas funcionales, agrupados por sistemas:

Gráfico 3. 4 : Número de Fallas Motores Cummins QSK60



Fuente: Elaboración Propia, datos Dispatch

Como podemos apreciar, **Gráfico 3.4**, la mayor frecuencia se encuentra en el sistema de lubricación que en total representan aproximadamente el 45% de las fallas totales. Otro punto a destacar esta clasificación es tomando en cuenta a la incapacidad del sistema a efectuar su trabajo en forma normal.

3.4.5. Identificar modos de fallas

Respondemos a la tercera pregunta: Que puede Originar cada Falla funcional? Es decir las causas principales de cada Falla funcional. Tomando como base al **Gráfico 3.3**, hemos identificado el modo de fallas del sistema de Lubricación tal como se indica a continuación en la siguiente **Tabla 3.4**.

Tabla 3. 4 : Tabla de Modo de Fallas

Lubricacion	
Falla Funcional	MODO DE FALLA
<i>Incapaz de Arrancar al Motor</i>	Base del Ciguenal, Desgastado
<i>Incapaz de contener el aceite lubricante por fugas de éste.</i>	Cárter roto o dañado
	Tuberias/Niples de aceite dañadas
<i>Incapaz de lubricar o lo hace en forma incorrecta</i>	Aceite Contaminado
<i>Transfiere aceite a una presion mayor de la normal (55psi)</i>	Exceso de aceite en el cárter.
<i>Transfiere aceite a una presion menor de la normal (55 psi)</i>	Baja de la Presion de aceite, circulacion pobre, sobrecalentamiento
	Bomba de aceite desgastada o dañada
	Enfriador de aceite obstruido
	Fuga de aire en la aspiración de la bomba
	Perdida de succion del Tamiz
	Tapon faltante de la galeria del arbol de levas
	Válvulas de alivio, reguladora de presión o de desvío del enfriador defectuosas

Fuente: Elaboración Propia, datos Dispatch

Para ver el cuadro completo vea en el **Anexo 3 del cuadro AMEF**

3.4.6. Efectos y consecuencias de las Fallas

Aquí tratamos de responder la pregunta. Que efectos provocan los Fallas? Según el modo de falla se puede determinar los efectos de las fallas, Tomemos como muestra al Sistema de lubricación:

Tabla 3. 5 : Efecto de Fallas

Lubricacion	
MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
<i>Base del Ciguenal, Desgastado</i>	Perdida de potencia del motor, apagado del motor
<i>Cárter roto o dañado</i>	Pérdida de aceite proporcional al daño del cárter. Falta de lubricación debido a la disminución de aceite y a la baja de presión.
<i>Tuberias/Niples de aceite dañadas</i>	Perdida de aceite por fuga en las tuberias
<i>Aceite Contaminado</i>	Mala lubricacion, Pérdida de potencia y torque.
<i>Exceso de aceite en el cárter.</i>	Alto consumo de aceite lubricante. El aceite puede pasarse al interior de los cilindros produciéndose la quema de éste. Presencia de humo negro
<i>Baja de la Presion de aceite, circulacion pobre, sobrecalentamiento</i>	Baja de la Presion de aceite, circulacion pobre, sobrecalentamiento
<i>Bomba de aceite desgastada o dañada</i>	Pobre circulación de aceite y presión baja de éste
<i>Enfriador de aceite obstruido</i>	El enfriador de aceite obstruido se manifiesta por temperatura excesivamente alta del aceite lubricante.
<i>Fuga de aire en la aspiración de la bamba</i>	Pérdida en la presión de aceite.
<i>Perdida de succian del Tamiz</i>	No hay Succion de Aceite, Baja de la Presion de aceite, circulacion pobre, sobrecalentamiento
<i>Tapon faltante de la galeria del arbol de levas</i>	Baja presión de aceite, circulación pobre dentro del motor. Sobrecalentamiento.
<i>Válvulas de alivio, reguladora de presión o de desvío del enfriador defectuosas</i>	Pérdida en la presión del aceite, Sobrecalentamiento

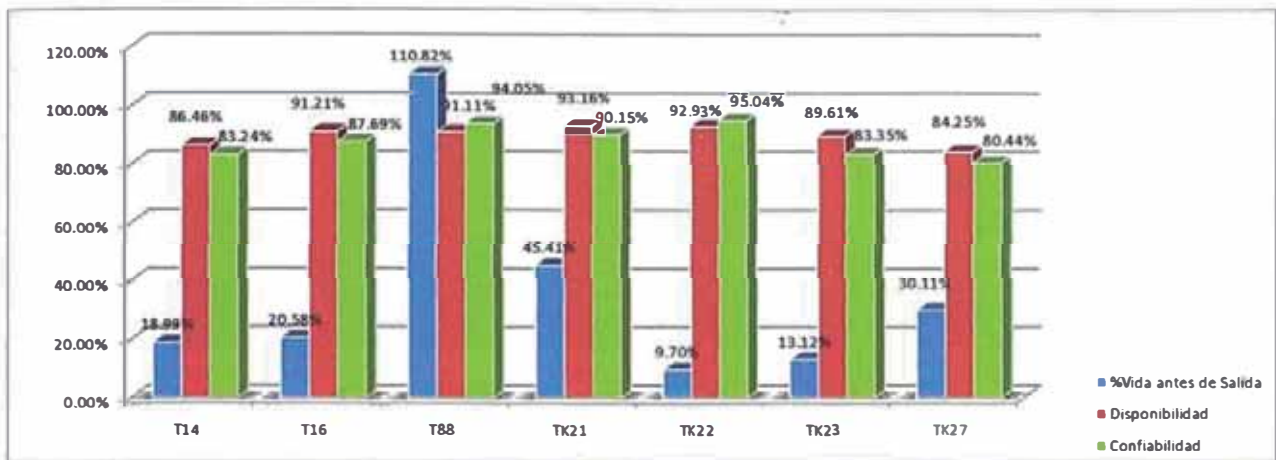
Fuente: Elaboración Propia, Datos Dispatch

Para ver los efectos de las fallas de todos los sistemas véase la tabla AMEF **Anexo 3** del cuadro AMEF

Respecto a las consecuencias, según este informe, se toma como factor principal el impacto en las Operaciones, que se reflejan en lo económico (Costo disponibilidad de equipo, Costo de Reparación y Mantenimiento)

Veamos el impacto en la disponibilidad y el ciclo de vida del motor (antes de salida del motor para la Reparación Total - Over Haul o Parcial) en el **Gráfico 3.5** . Siguiendo:

Gráfico 3. 5 : Indicadores Flota Komatsu 930 E (Muestra)



	T14	T16	T88	TK21	TK22	TK23	TK27
% Vida antes de Salida	18.99%	20.58%	110.82%	45.41%	9.70%	13.12%	30.11%
Disponibilidad	86.46%	91.21%	91.11%	93.16%	92.93%	89.61%	84.25%
Confiabilidad	83.24%	87.69%	94.05%	90.15%	95.04%	83.35%	80.44%
% Demoras Motor	10.15%	9.91%	14.45%	18.96%	11.39%	29.78%	25.38%

Fuente: Elaboración Propia, datos dispatch

Vemos que la mayoría de los motores en estudio no llegan a la vida esperada antes de una reparación total, 20,000 Horas. También notamos que las demoras a causa de motor son considerables desde el 10% hasta el 25% en otros casos, véase el cuadro resumen de los costos de motores en el **Anexo 14**.

3.4.7. Aplicación del Algoritmo de Decisión

Para responder a la pregunta. Que se puede hacer para prevenir la falla? Para esto a cada modo de falla hay que asignarle un valor de Gravedad (0 a 10), Valor de Frecuencia (0 a 10) y Detectabilidad (0 a 10) para que el producto no de un Numero Ponderado de Riesgo (N.P.R) con la finalidad de seleccionar un método adecuado de prevención de las fallas, para esto se elabora la hoja de decisión del MCC, **Tabla 3.6**.

Tabla 3. 6 : Valoración de NPR al Sistema de Lubricación

AMEF (Análisis de Modo Efecto y Fallas)		Centro de Operación: Camion Komatsu 930E Críticidad Primer Nivel:	Subsistema: Lubricacion Críticidad Segundo Nivel:	Nº Proyecto - Ingeniería: Elaborado por: Revisado por:	Fecha elaboración: (versión): 1 HOJA: 1							
Activo: MOTOR CUMMINS QSK60												
FUNCIÓN / PROCESO	FALLAS FUNCIONALES	MODOS DE FALLA	EFECTOS DE FALLA	CONSECUENCIAS DE FALLA			VALORACION DE RIESGO					
				FALLA OCULTA	PRODUCCION	MANTENIMIENTO	GRAVEDAD	FREC. DE FALLAS	VALOR FREC	DETECTABILIDAD	N.P.R	
Transferir el aceite lubricante desde el cárter hacia los filtros de aceite lubricante, enfriador de aceite lubricante y galería principal del aceite lubricante en el bloque de cilindros a una presión aprox 55 psi	Transfiere aceite a una presión mayor de la normal (55psi)	Exceso de aceite en el cárter.	Alto consumo de aceite lubricante. El aceite puede pasarse al interior de los cilindros produciéndose la quema de éste. Presencia de humo negro	SI	SI	SI	10	19	7	5	131	
	Transfiere aceite a una presión menor de la normal (55 psi)	Válvulas de alivio, reguladora de presión o de desvío del enfriador defectuosas	Pérdida en la presión del aceite, Sobrecalentamiento		NO	SI	SI	6	36	10	6	408
		Bomba de aceite desgastada o dañada	Pobre circulación de aceite y presión baja de éste		NO	SI	SI	8	13	6	5	240
		Tamices de admisión parcialmente obstruidos.	Baja de la Presion de aceite, circulación pobre, sobrecalentamiento		SI	SI	SI	4	11	5	8	160
		Fuga de aire en la aspiración de la bomba	Pérdida en la presión de aceite. Desarme la tubería e Instale juntas nuevas.		SI	SI	SI	4	10	5	8	160
		Perdida de succion del Tamiz	No hay Succión de Aceite, Baja de la Presion de aceite, circulación pobre, sobrecalentamiento		SI	SI	SI	6	9	4	8	192
		Tapon faltante de la galería del arbol de levas	Baja presión de aceite, circulación pobre dentro del motor. Sobrecalentamiento.		SI	SI	SI	7	1	2	8	112
		Enfriador de aceite obstruido	El enfriador de aceite obstruido se manifiesta por temperatura excesivamente alta del aceite lubricante.		SI	SI	SI	8	1	2	8	128
Lubricar elementos del motor	Incapaz de lubricar o lo hace en forma incorrecta	Aceite Contaminado	Mala lubricacion, Perdida de potencia y torque.	SI	SI	SI	8	2	2	5	80	
Contener el aceite lubricante	Incapaz de contener el aceite lubricante por fugas de éste.	Tuberias/Niples de aceite dañadas	Perdida de aceite por fuga en las tuberías		SI	SI	7	67	10	8	160	
		Cárter roto o dañado	Pérdida de aceite proporcional al daño del cárter. Falta de lubricación debido a la disminución de aceite y a la baja de presión.		NO	SI	SI	9	3	1	4	108
		Pérdida de aceite sector damper	Fuga de aceite por interior de la masa del cigüeñal. Revise tapón del cigüeñal		NO	SI	SI	9	1	2	8	144

Fuente: Elaboración Propia, datos dispatch

Legenda de N.R.P

	Poco Importante: NPR < 100
	Normal: 100 a 299
	Crítico: 300 a 699
	Muy Crítico: 700 a 1000

Según el N.P.R. se usamos el algoritmo de RCM (MCC) **Gráfico 2.2**, dándonos como resultado:

Tabla 3. 7 : Acciones de Hoja de decisión

Hoja de Decisión			MANTENIMIENTO PREDICTIVO			MANTENIMIENTO		MANTENIMIENTO	REDISEÑO / MEJORA
Subsistema : Lubricación						INSPECCIÓN / DETECCIÓN		RECAMBIO / MATERIAL	
MODOS DE FALLA	EFECTOS DE FALLA	N.R.P.	OPERACIÓN A REALIZAR	PUNTO DE APLICACIÓN	FREC.	OPERACIÓN	FREC.	OPERACIÓN	DESCRIPCIÓN
Exceso de aceite en el cárter.	Alto consumo de aceite lubricante. El aceite puede pasarse al interior de los cilindros produciéndose la quema de éste. Presencia de humo negro	128	Inspeccion a las Valvulas (alivio) , termostatos del Sistema de Lubricacion	Sistema de Lubricacion	Mensual	Cambio de Bomba de Aceite	10,000 Hr.		Regular y calibrar las valvulas con un sistema electronico
Válvulas de alivio, reguladora de presión o de desvío del enfriador defectuosas	Pérdida en la presión del aceite, Sobrecalentamiento	160				Inspeccionar Funcionamiento cada Valvula en el Cambio	600 Hr.		
Bomba de aceite desgastada o dañada	Pobre circulación de aceite y presión baja de éste	240	Inspeccion de Bomba de Aceite	Bomba de Aceite	Cada 2 meses	Cambio de Bomba de Aceite	10,000 Hr.		
Tamices de admisión parcialmente obstruidos.	Baja de la Presion de aceite, circulacion pobre, sobrecalentamiento	160				Inspeccion de Filtros de Tamiz	5,000 Hr.		
Fuga de aire en la aspiración de la bomba	Pérdida en la presión de aceite. Desarme la tubería e instale juntas nuevas.	160				Inspeccion de Tuberias y Juntas de Lineas de la Bomba	300 Hr.		
Pérdida de succión del Tamiz	No hay Succión de Aceite, Baja de la Presion de aceite, circulacion pobre, sobrecalentamiento	192				Inspeccion del Tamiz	5000 Hr.		
Tapon faltante de la galería del arbol de levas	Baja presión de aceite, circulación pobre dentro del motor. Sobrecalentamiento.	112	Inspeccion del Sistema de Levas	Levas	5000 Hr.				
Enfriador de aceite obstruido	El enfriador de aceite obstruido se manifiesta por temperatura excesivamente alta del aceite lubricante.	128	Inspeccion Tecnica del enfriador	Enfriador de Aceite	Cada 2 meses				
Aceite Contaminado	Mala lubricacion, Perdida de potencia y torque.	80				Inspeccion Inicial, Cambio de Aceite	300 Hr.	Cambiar Inmediatamente	
Tuberías/Niples de aceite dañadas	Pérdida de aceite por fuga en las tuberías	160	Inspeccion a las lineas de mayor rotura	Tuberias de aceite	Cada Semana				Cambiar el material de las mangueras, Revisar las juntas y
Cárter roto o dañado	Pérdida de aceite proporcional al daño del cárter. Falta de lubricación debido a la disminución de aceite y a la baja de presión.	108	Inspeccion de carter (rajaduras)	carter	5,000 Hr.	Inspeccion, Cambio	20,000 Hr.		
Pérdida de aceite sector damper	Fuga de aceite por interior de la masa del cigüeñal. Revise tapón del cigüeñal	144				Inspeccion Tapones de Ciguenal	5,000 Hr.		

Fuente: Elaboración Propia, datos dispatch

Notamos que el Gráfico se toma cuatro tipos de acciones según sea el N.R.P, Predictivo, Preventivo, Correctivo y de Mejora. Todo lo anterior tomando como regla de decisión al algoritmo RCM (MCC). Para poder ver el análisis completo véase el **Anexo 8**.

Respecto a las tareas de mantenimiento Preventivo (PM) están basados en el manual de mantenimiento del fabricante del motor Cummins QSK60, véase el **Anexo 12**

CAPITULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. SELECCIÓN DE CRITERIOS DE EVALUACION

El objetivo principal de este trabajo es el uso de la metodología mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC) para el incremento de la confiabilidad en el uso de los motores Cummins SQK60, esto impactara directamente en la disponibilidad del equipo traduciéndose en más horas de operatividad y productividad, para poder evaluar esto se ha tomado como base a los siguientes indicadores:

- ✓ **%Demoras a causa del Motor**

Según la **Tabla 4.1**, se ve que los porcentajes por falla de motores considerable pues solo es el tiempo por las demoras en fallas, no se toma en cuenta el tiempo invertido en mantenimiento Preventivo, con el MCC se estima reducir el porcentaje a valores de fabricante que están por el 4% de las fallas totales expresado en tiempo. Así también se debe reflejar en los indicadores MTBF pues debería aumentar con las mejoras en el mantenimiento.

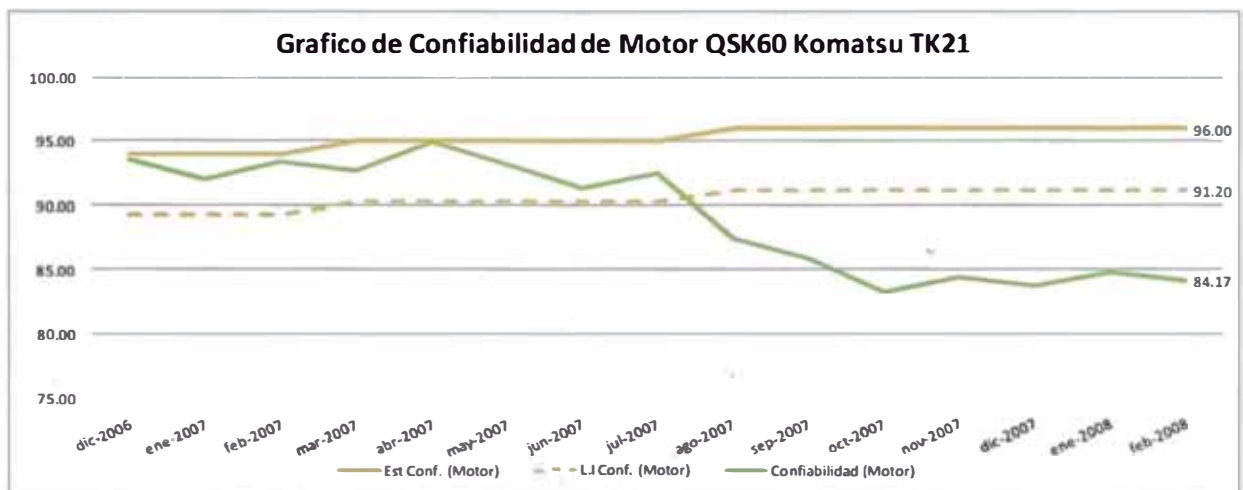
Tabla 4. 1 : Indicadores de mantenimiento (Muestra)

	T14	T16	T18	TK21	TK22	TK23	TK27
% Demoras por Motor	10.00%	10.00%	14.00%	19.00%	11.00%	30.00%	25.00%
Confiabilidad Promedio(día)	83.24%	87.69%	94.05%	84.17%	89.00%	82.00%	80.00%
MTBF (Horas)	130.83	182.70	391.24	139.27	205.95	120.94	107.55

Fuente: Elaboración Propia, datos dispatch

✓ Confiabilidad (Distribución Weibull)

Gráfico 4. 1 : Evolución de la Confiabilidad de Motor TK21



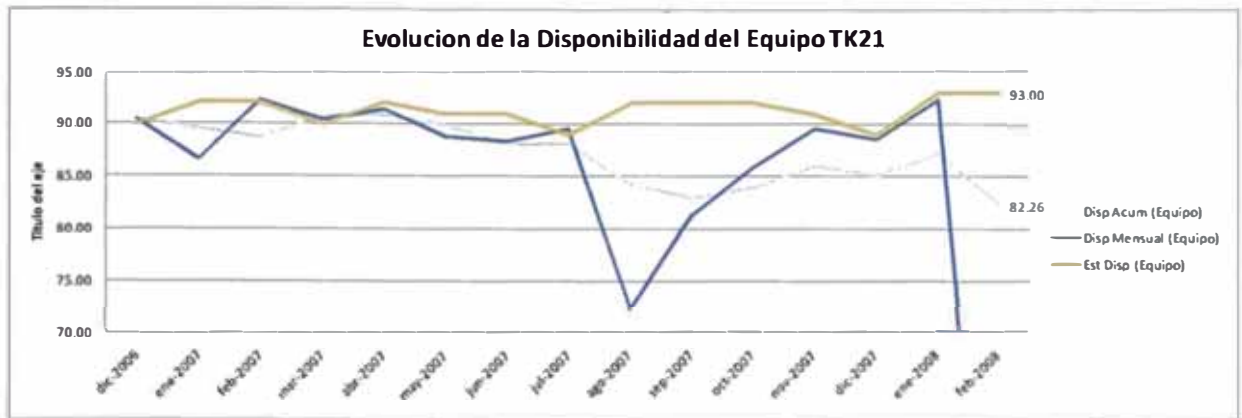
Fuente: Elaboración Propia, datos dispatch

Vemos que la confiabilidad, **Gráfico 4.1**, se reduce conforme pasa el tiempo, con la metodología MCC lo que se lograría sería acercarse o estar en el rango de confiabilidad. Lo que se manifestaría en el aumento de la disponibilidad del equipo.

✓ Disponibilidad

Al ser el motor responsable de una parte importante de las demoras tal como indica el **Gráfico 4.2**, es también responsable del aumento de la disponibilidad lo que se traduce en más operatividad de los equipos. Véase el resumen de datos en el **Anexo 13**.

Gráfico 4. 2 : Evolución de Disponibilidad de TK21



Fuente: Elaboración Propia, datos dispatch

El objetivo es llegar a la disponibilidad Estimada (línea amarilla). Pasando del 82.26% a un aproximado de 92% (en caso sea solo a causa del motor).

Resumiendo los beneficios se pueden ver de la siguiente manera, **Tabla 4.2**:

Tabla 4. 2 : Resumen de Estimados de beneficios RCM

	Volkete TK21			Estimacion Costos			Ahorro (USD)
	Actual	Estimado	Variacion	Horas Vida	Aumento Horas	Costo Hora* (USD)	
% Demoras Motor	19.0%	4.0%	15.0%	20,000	1,948	200.0	389,600.0
Confiabilidad	84.2%	93.0%	8.8%				
Disponibilidad	82.3%	92.0%	9.7%				

Fuente: Elaboración Propia, datos dispatch

Sin embargo los costos de mantenimiento permanecen casi constantes, pues se hizo inspecciones focalizadas mas no se redujo el costo de mantenimiento.

La flota de Camiones Komatsu 930E cuenta con 19 Unidades las cuales están en funcionamiento y aun no cumplen con las 20,000 Horas (salvo las muestras del caso de estudio) pero con los datos de los camiones de la muestra es posible estimar los beneficios en términos cuantitativos de una flota 930E de 19 Volquetes.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES:

- ✓ El uso de la metodología focaliza los problemas principales de las fallas de los equipo, en este caso el motor QSK 60, de tal forma que se disminuye el número de fallas (consecuentemente aumenta la confiabilidad) para que se aumente la disponibilidad de los equipos.
- ✓ El análisis AMEF es la herramienta central del MCC, pues permite identificar las funciones de los sistemas, fallas de función, modos de falla y los correspondientes efectos de la falla, permitiendo posteriormente las acciones y selección de las tareas de mantenimiento usando el NPR.
- ✓ El MCC es activo y dinámico, por ello se basa en la *mejora continua* pues busca en cada momento las mejores prácticas para reducir la tasa de fallas, en la acción de “Rediseño y Mejora”
- ✓ Se debe notar que no se busca reducir el costo de “reparación” o los costos asociados al mantenimiento preventivo ni predictivo; sino el camino correcto hacia las verdaderas causas de las fallas considerando los riesgos para la operación, medio ambiente, calidad. Es decir la reducción del costo se traduce en el aumento de la confiabilidad operativa.

RECOMENDACIONES:

- ✓ Para el estudio que demuestre los impactos económicos de la metodología es necesario contar con herramientas de registros a nivel global como un ERP, en nuestro caso usamos en Sistema Ellipse (costos de reparaciones), y el Sistema Dispatch (para cuantificar las fallas).
- ✓ El personal a cargo de las evaluaciones de las fallas deben estar constantemente capacitados para emitir una opinión acertada, con esto se evitan errores en el historial de fallas de cada componente.
- ✓ Es necesario mantener actualizada toda la información a cerca de cada componente que se considere crítico, para ello previamente hay que hacer la clasificación, que considere lo más importante la compañía (impactos ambientales, económicos, personal).
- ✓ Tener los instrumentos de medición adecuados y calibrados para los estudios y análisis de componentes en estudio
- ✓ En la gestión del mantenimiento, para que sea exitoso no basta el simple análisis de las fallas sino el compromiso de cada uno de los que intervienen en la operación y mantenimiento de los equipos, ello busca la mejora continua para el bienestar de la organización y la propia salud y seguridad de los trabajadores

GLOSARIO DE TERMINOS

A

- *ALD* : Árbol Lógico de Decisión, es un algoritmo para decidir las el tipo acción o mantenimiento a tomar según en Nivel Ponderado de Riesgo (NRP)
- *AMEF*: Análisis de Modo de Efecto y Fallas, es una técnica analítica para determinar los “efectos” y las “consecuencias” de cada falla funcional de los equipos en estudio.

B

- *Backlog*: Tareas no ejecutadas en el programa de mantenimiento , por lo cual quedan pendientes de ejecución

C

- *Cátodo de Cobre Grado A - LME*: Cátodo de cobre con 99.999% de pureza según London Metal Exchange.

D

- *Desmonte*: Roca mineralizada con un contenido menor a 0.4% de Ley de Cobre.

K

- *KPI's de Mantenimiento*: Key Performance Indicators, Indicadores Claves de Gestión del Mantenimiento, tales como Disponibilidad, Confiabilidad, Tiempo medio entre Fallas, entre otros.

L

- *Ley de Cobre*: Es el porcentaje de cobre que encierra una determinada muestra. Cuando se habla de una ley del 1% significa

que en cada 100 kilogramos de roca mineralizada hay 1 kilogramo de cobre puro.

M

- *MCC* :Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad

R

- *RCM*: Reliability Centered Maintenance, MCC

S

- *Sistema Dispatch*: Sistema de control y monitoreo de los equipos, en cual brinda información como localización GPS, carga, estado. El historial de sucesos se guardan en una base de datos.
- Sistema Ellipse: Es un ERP específicamente para el sector Minero que integra todas las funciones como: Logística, Finanzas, Producción, RR.HH, Programas de Mantenimiento, Ventas.

T

- *Trazabilidad*: Rastreabilidad histórica de los componentes, que nos permiten conocer los costos, reparaciones y tipos de mantenimientos que se le hicieron a lo largo de su vida útil.

BIBLIOGRAFIA

1. Cummins QSK60 **“Operation & Maintenance HOECL-PY-1”** Volumen 1, 2003
2. Anthony Smith **“RCM Gateway to World Class Maintenance”**, Estados Unidos 2003, Jordan Hill Oxford OX2
3. José Luis Amendola **“Gestión de Proyectos de Activos Industriales”** Valencia España 2006, Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia
4. Adolfo Arata Andreani **“Ingeniería y gestión de la confiabilidad operacional en plantas industriales”** Santiago de Chile, 2009, RIL Editores
5. *Moubray, John.*, **“Reliability Centered Maintenance”**, Industrial Press, New York, 1997.
6. SAE JA1012 (The Engineering Society For Advancing Mobility Land Sea Air and Space) **“A Guide to the Reliability Centered Maintenance (RCM) Standard”**.
7. Manual de KPI's de mantenimiento, X'STRATA COPPER, 2008
8. Antonio Creus Solé, **“Fiabilidad y Seguridad: Su aplicación en procesos industriales”** 2da Edición, 2005, Editorial Marcombo - Ediciones técnicas.
9. Jose Luis Arqués Patón, **“Ingeniería y gestión del mantenimiento en el sector ferroviario”**, España 2009, Editorial Diaz de Santos

ANEXOS

ANEXO 2
ANALISIS DE MODO DE EFECTO Y FALLAS: SISTEMA COMBUSTION
MOTOR CUMMINS QSK60

AMEF (Análisis de Modo Efecto y Fallas)				Centro de Operación: Camión Komatsu 930E Críticidad Primer Nivel:			Subsistema: Combustion Críticidad Segundo Nivel:			Nº Proyecto - Ingeniería: Elaborado por: Revisado por:		Fecha elaboración: (versión): 1 HOJA: 1	
Activo: MOTOR CUMMINS QSK60				CONSECUENCIAS DE FALLA		VALORACIÓN DE RIESGO							
FUNCION / PROCESO	FALLAS FUNCIONALES	MODO DE FALLA	EFECTOS DE FALLA	FALLA OCULTA	PRODUCCIÓN	MANTENIMIENTO	GRAVEDAD		FREC. DE FALLAS		VALOR FREC. DETECTABILIDAD		N.P.R.
Transferir, Dosificar e inyectar la cantidad exacta de combustible dentro de la cámara de combustión, en el instante preciso, atomizado y a alta presión.	Incapaz de Inyectar combustible o es en forma inadecuada	Boquilla Rotadora u orificios de inyector obstruidos	Mezcla pobre, pérdida de potencia del motor. La obstrucción puede deberse a material particulado en el combustible	NO	SI	SI	8	87	10	7			
		Acumulación de suciedad en el inyector.	Baja inyección de combustible dentro de la cámara. Atomización deficiente. Presión baja de apertura de la válvula.	NO	SI	SI	8	8	5	7			280
		Falla de los sellos de agua en culata, que separa sistema de enfriamiento	Al mezclarse refrigerante con petróleo, el motor funciona en forma errática y se detiene.	SI	SI	SI	8	5	4	7			224
		Inyectores/Balancines Deteriorados	Baja inyección de combustible dentro de la cámara. Atomización deficiente. Presión baja de apertura de la válvula.	NO	SI	SI	8	1	2	8			128
Incapaz de transferir el combustible	Bomba de Combustible no funciona	No transporta combustible, Apagado del motor	NO	SI	SI	8	5	5	6			240	
Proporcionar las condiciones mecánicas para el funcionamiento del motor	Incapaz de Arrancar al Motor	Cámara de Combustion alto contenido de NA	El motor deja de funcionar	SI	SI	SI	10	1	2	9			180
		Falla de Culata y Cilindro	Parada inesperada del motor, puede afectar al Block	NO	SI	SI	10	1	2	8			160
		Rotura de Bielas, Ruptura de Block	Parada inesperada del motor, puede afectar al Block	NO	SI	SI	10	2	3	8			240
		Valvulas de escape	Parada inesperada del motor.	NO	SI	SI	8	2	3	8			192

Fuente: Elaboración Propia, Datos Sistema Dispatch

AN XO 3

ANALISIS DE MODO DE EFECTO Y FALLAS: SISTEMA LUBRICACION MOTOR CUMMINS QSK60

AMEF (Análisis de Modo Efecto y Fallas)		Centro de Operación: Camión Komatsu 930E Críticidad Primer Nivel:	Subsistema: Lubricación Críticidad Segundo Nivel:	Nº Proyecto - Ingeniería: Elaborado por: Revisado por:	Fecha elaboración: (versión): 1 HOJA: 1						
Activo: MOTOR CUMMINS QSK60											
FUNCION / PROCESO	FALLAS FUNCIONALES	MODOS DE FALLA	EFECTOS DE FALLA	CONSECUENCIAS DE FALLA			VALORACIÓN DE RIESGO				
				FALLA/CUENTA	PRODUCCION	MANTENIMIENTO	GRAVEDAD	FREC. DE FALLAS	VALOR FREC. DE OCURRENCIAS	N.P.R.	
	Transfiere aceite a una presión mayor de la normal (55psi)	Exceso de aceite en el cárter.	Alto consumo de aceite lubricante. El aceite puede pasarse al interior de los cilindros produciéndose la quema de éste. Presencia de humo negro	SI	SI	SI	10	19	7	5	100
Transferir el aceite lubricante desde el cárter hacia los filtros de aceite lubricante, enfriador de aceite lubricante y galería principal del aceite lubricante en el bloque de cilindros a una presión aprox 55 psi	Transfiere aceite a una presión menor de la normal (55 psi)	Válvulas de alivio, reguladora de presión o de desvío del enfriador defectuosas	Pérdida en la presión del aceite, Sobrecalentamiento	NO	SI	SI	6	36	10	6	100
		Bomba de aceite desgastada o dañada	Pobre circulación de aceite y presión baja de éste	NO	SI	SI	8	13	6	5	240
		Tamices de admisión parcialmente obstruidos.	Baja de la Presión de aceite, circulación pobre, sobrecalentamiento	SI	SI	SI	4	11	5	8	160
		Fuga de aire en la aspiración de la bomba	Pérdida en la presión de aceite. Desarme la tubería e instale juntas nuevas.	SI	SI	SI	4	10	5	8	160
		Perdida de succión del Tamiz	No hay Succión de Aceite, Baja de la Presión de aceite, circulación pobre, sobrecalentamiento	SI	SI	SI	6	9	4	8	192
		Tapon faltante de la galería del arbol de levas	Baja presión de aceite, circulación pobre dentro del motor. Sobrecalentamiento.	SI	SI	SI	7	1	2	8	112
		Enfriador de aceite obstruido	El enfriador de aceite obstruido se manifiesta por temperatura excesivamente alta del aceite lubricante.	SI	SI	SI	8	1	2	8	128
Lubricar elementos del motor	Incapaz de lubricar o lo hace en forma incorrecta	Aceite Contaminado	Mal lubricación, Pérdida de potencia y torque.	SI	SI	SI	8	2	2	5	80
Contener el aceite lubricante	Incapaz de contener el aceite lubricante por fugas de éste.	Tuberías/Niples de aceite dañadas	Pérdida de aceite por fuga en las tuberías		SI	SI	7	67	10	8	560
		Cárter roto o dañado	Pérdida de aceite proporcional al daño del cárter. Falta de lubricación debido a la disminución de aceite y a la baja de presión.	NO	SI	SI	9	3	3	4	108
		Pérdida de aceite sector damper	Fuga de aceite por Interior de la masa del cigüeñal. Revise tapón del cigüeñal	NO	SI	SI	9	1	2	8	144

Fuente: Elaboración Propia, Datos Sistema Dispatch

ANEXO 4
MOTOR CUMMINS QSK60
ANALISIS DE MODO DE EFECTO Y FALLAS: SISTEMA ENFRIAMIENTO

AMEF (Análisis de Modo Efecto y Fallas)		Centro de Operación: Camión Komatsu 930E Críticidad Primer Nivel:	Subsistema: Enfriamiento Críticidad Segundo Nivel:	Nº Proyecto - Ingeniería: Elaborado por: Revisado por:	Fecha elaboración: (versión): 1 HOJA: 1						
Activo: MOTOR CUMMINS QSK60											
FUNCIÓN / PROCESO	FALLAS FUNCIONALES	MODOS DE FALLA	EFECTOS DE FALLA	CONSECUENCIAS DE FALLA			VALORACIÓN DE RIESGO				
				FALLA OCULTA	PRODUCCIÓN	MANTENIMIENTO	GRAVEDAD	FREC. DE FALLAS	VALOR FREC	DETECTABILIDAD	N.P.R.
Mantener una temperatura adecuada de funcionamiento del motor y del líquido refrigerante entre 80 y 95°C.	No mantiene una temperatura adecuada de funcionamiento, (aprox 80 C y 95 C.)	Fuga de Refrigerante por Mangueras deterioradas	Alta temperatura de refrigerante. Las escamas y depósitos pueden ocasionar fallas en el sistema de enfriamiento si aíslan el refrigerante de los componentes que requieren ser enfriados. La transferencia de calor reducida al refrigerar	SI	SI	SI	7	22	8	7	251
		Fuga de Refrigerante por Culata fisurada	Alta temperatura de refrigerante. Las escamas y depósitos pueden ocasionar fallas en el sistema de enfriamiento si aíslan el refrigerante de los componentes que requieren ser enfriados. La transferencia de calor reducida al refrigerar	NO	SI	SI	8	12	6	7	248
		Fuga de Refrigerante por Sellos de termostato deteriorados	Alta temperatura de refrigerante. Las escamas y depósitos pueden ocasionar fallas en el sistema de enfriamiento si aíslan el refrigerante de los componentes que requieren ser enfriados. La transferencia de calor reducida al refrigerar	SI	SI	SI	8	5	4	8	256

Fuente: Elaboración Propia Datos Sistema Dispatch

ANEXO 5

ANÁLISIS DE MODO DE EFECTO Y FALLAS: SISTEMA ADMISION DE AIRE MOTOR CUMMINS QSK60

AMEF (Análisis de Modo Efecto y Fallas)		Centro de Operación: Camion Komatsu 930E Criticidad Primer Nivel:	Subsistema: Admisión de Aire Criticidad Segundo Nivel:	Nº Proyecto - Ingeniería: Elaborado por: Revisado por:	Fecha elaboración: (versión): 1 HOJA: 1						
Activo: MOTOR CUMMINS QSK60											
FUNCIÓN / PROCESO	FALLAS FUNCIONALES	MODOS DE FALLA	EFECTOS DE FALLA	CONSECUENCIAS			VALORACIÓN DE				
				FALLA OCULTA	PRODUCCION	MANTENIMIENTO	GRAVEDAD	FREC. DE FALLAS	VALOR FREC	DETECTABILIDAD	N.P.R.
Suministrar una masa de aire comprimida al interior de los cilindros.	Porción de masa de aire se desvía hacia el cárter.	Pistón rajado/quebrado o camisa de cilindro dañada.	Alta presión de cárter. Compresión baja. Pérdida de potencia	SI	SI	SI	10	20	9	7	24
	Incapaz de entregar aire limpio y flujo adecuado	Falta de lubricación de Cojinetes del soplador	Soplador funciona forzosamente y no proporciona masa de aire adecuado	NO	SI	SI	7	8	5	5	175
		Filtro de Aire obstruido	Hay poco flujo de aire, combustión incompleta, baja potencia del motor	NO	SI	SI	4	4	4	4	64

ANEXO 6

ANALISIS DE MODO DE EFECTO Y FALLAS: SISTEMA ELECTRICO
MOTOR CUMMINS QSK60

AMEF (Análisis de Modo Efecto y Fallas)		Centro de Operación: Camion Komatsu 930E Criticidad Primer Nivel:	Subsistema: Electrico Criticidad Segundo Nivel:	Nº Proyecto - Ingeniería: Elaborado por: Revisado por:	Fecha elaboración: (versión): 1 HOJA: 1						
Activo: MOTOR CUMMINS QSK60											
FUNCION / PROCESO	FALLAS FUNCIONALES	MODOS DE FALLA	EFECTOS DE FALLA	CONSECUENCIAS			VALORACION DE				
				FALLA OCULTA	PRODUCCION	MANTENIMIENTO	GRAVEDAD	FREC. DE FALLAS	VALOR FREC	DETECTABILIDAD	N.P.R
Proveer la fuente de energía para arrancar el motor y suplir los requerimientos eléctricos de éste.	Incapaz de Arrancar al Motor	Conexiones eléctricas dañadas o sueltas.	Motor no parte, equipos parado	NO	SI	SI	4	16	9	5	180
		Inducido (Rotor) del motor de arranque quemado	Motor de arranque no gira	NO	SI	SI	10	14	8	5	60
		Dientes del piñón del motor de arranque fracturados.	Dependiendo del grado de fractura es posible que no alcancen a engranar correctamente los dientes y el volante no alcance la inercia necesaria para que parta el motor	NO	SI	SI	9	8	7	7	63
Mantener la Carga de las Baterías	Incapaz de mantener la carga de la batería.	Regulador de carga del alternador quemado.	Batería no cargará, el sistema de protección se encuentra inoperativo debido a la falta de electricidad	SI	SI	SI	4	1	2	8	64

Fuente: Elaboración Propia Datos Sistema Dispatch

ANEXO 7

HOJA DE DECISION: SISTEMA COMBUSTION
MOTOR CUMMINS QSK60

Hoja de Decisión			MANTENIMIENTO PREDICTIVO			MANTENIMIENTO		MANTENIMIENTO	REDISEÑO / MEJORA
Subsistema : Combustión			OPERACIÓN A REALIZAR	PUNTO DE APLICACIÓN	FREC.	PREVENTIVO		CORRECTIVO	DESCRIPCIÓN
MODOS DE FALLA	EFECTOS DE FALLA	N.P.R				OPERACIÓN	FREC.	OPERACIÓN	
Boquilla Rociadora u orificios de inyector obstruidos	Mezcla pobre, pérdida de potencia del motor. La obstrucción puede deberse a material particulado en el combustible	444				Revisión de Inyectores (según Manual)	300 Hr.		Pruebas de rendimiento de Inyectores alternativos
Acumulación de suciedad en el inyector.	Baja Inyección de combustible dentro de la cámara. Atomización deficiente. Presión baja de apertura de la válvula.	280				Revisión de Inyectores (según Manual)	300 Hr.		
FALLA de los sellos de agua en culata, que separa sistema de enfriamiento de el de	Al mezclarse refrigerante con petróleo, el motor funciona en forma errática y se detiene.	224	Inspeccion a Sellos de Culata	Culata	Revisión en Campo (semanal)				
Inyectores/Balancines Deteriorados	Baja Inyección de combustible dentro de la cámara. Atomización deficiente. Presión baja de apertura de la válvula.	128	Inspeccion a Balancines	Sistema de Inyeccion	Cada vez que haya PM Mensual o Paradas por	Cambio y Reparacion de Inyectores (según manual)	600 Hr		
Bomba de Combustible no funciona	No transporta combustible, Apagado del motor	240	Inspeccion	Bomba de Combustible	Cada vez que haya PM	Cambio de Bomba de Combustible	10,000 Hr.		
Camara de Combustion alto contenido de NA	El motor deja de funcionar	180	Analisis de Aceite	Muestras de Aceite	A cada motor cada 300 Hr	Cambio Anillos y Pistones	5,000 Hr.		
Falla de Culata y Cilindro	Parada inesperada del motor, puede afectar al Block	160	Inspeccion de Culata (Liquidos Revelantes de Rajaduras)	Culata	Mensual (PM)	Cambio de Cilindros	5,000 Hr.		Analisis de tendencia de superficie de grietas de culata, Graficos
Rotura de Bielas, Ruptura de Block	Parada inesperada del motor, puede afectar al Block	240	Inspeccion de Block en la zona de alojamiento de Bielas	Block	cada PM (5000)	Cambio de Bielas	5,000 Hr.		
Valvulas de escape	Parada inesperada del motor.	192				Revisión de Valvulas	600 Hr.		

AN XO 8
HOJA DE DECISION: SISTEMA LUBRICACION
MOTOR CUMMINS QSK60

Hoja de Decisión		Subsistema : Lubricación							
MODOS DE FALLA	EFECTOS DE FALLA	N.P.R.	MANTENIMIENTO PREDICTIVO			MANTENIMIENTO		MANTENIMIENTO	REDISEÑO / MEJORA
			OPERACIÓN A REALIZAR	PUNTO DE APLICACIÓN	FREC.	INSPECCIÓN / DETECCIÓN	RECAMBIO / MATERIAL	DESCRIPCIÓN	
						OPERACIÓN	FREC.	OPERACIÓN	
Exceso de aceite en el cárter.	Alto consumo de aceite lubricante. El aceite puede pasarse al interior de los cilindros produciéndose la quema de éste. Presencia de humo negro	132	Inspeccion a las Valvulas (alivio) , termostatos del Sistema de Lubricacion	Sistema de Lubricacion	Mensual	Cambio de Bomba de Aceite	10,000 Hr.		Regular y calibrar las valvulas con un sistema electronico
Válvulas de alivio, reguladora de presión o de desvío del enfriador defectuosas	Pérdida en la presión del aceite, Sobrecalentamiento	180				Inpeccionar Funcionamiento cada Valvula en el Cambio	600 Hr.		
Bomba de aceite desgastada o dañada	Pobre circulación de aceite y presión baja de éste	240	Inspeccion de Bomba de Aceite	Bomba de Aceite	Cada 2 meses	Cambio de Bomba de Aceite	10,000 Hr.		
Tamices de admisión parcialmente obstruidos.	Baja de la Presion de aceite, circulacion pobre, sobrecalentamiento	160				Inspeccion de Filtros de Tamiz	5,000 Hr.		
Fuga de aire en la aspiración de la bomba	Pérdida en la presión de aceite. Desarme la tubería e instale juntas nuevas.	160				Inspeccion de Tuberias y Juntas de Lineas de la Bomba	300 Hr.		
Pérdida de succion del Tamiz	No hay Succion de Aceite, Baja de la Presion de aceite, circulacion pobre, sobrecalentamiento	192				Inspeccion del Tamiz	5000 Hr.		
Tapon faltante de la galería del arbol de levas	Baja presión de aceite, circulación pobre dentro del motor. Sobrecalentamiento.	112	Inspeccion del Sistema de Levas	Levas	5000 Hr.				
Enfriador de aceite obstruido	El enfriador de aceite obstruido se manifiesta por temperatura excesivamente alta del aceite lubricante.	128	Inspeccion Tecnica del enfriador	Enfriador de Aceite	Cada 2 meses				
Aceite Contaminado	Mala lubricacion, Pérdida de potencia y torque.	80				Inspeccion Inicial, Cambio de Aceite	300 Hr.	Cambiar Inmediatamente	
Tuberias/Niples de aceite dañadas	Pérdida de aceite por fuga en las tuberias	140	Inspeccion a las lineas de mayor rotura	Tuberias de aceite	Cada Semana				Cambiar el material de las mangueras, Revisar las juntas y
Cárter roto o dañado	Pérdida de aceite proporcional al daño del cárter. Falta de lubricación debido a la disminución de aceite y a la baja de presión.	108	Inspeccion de carter (rajaduras)	carter	5,000 Hr.	Inspeccion, Cambio	20,000 Hr.		
Pérdida de aceite sector damper	Fuga de aceite por interior de la masa del cigüeñal. Revise tapón del cigüeñal	144				Inspeccion Tapones de Ciguenal	5,000 Hr.		

Fuente: Elaboración Propia, Manual Operación y Mantenimiento Cummins QSK60

ANEXO 9

HOJA DE DECISION: SISTEMA ENFRIAMIENTO MOTOR CUMMINS QSK60

Hoja de Decisión			MANTENIMIENTO PREDICTIVO			MANTENIMIENTO PREVENTIVO POR INSPECCIÓN		MANTENIMIENTO PREVENTIVO POR	REDISEÑO / MEJORA
Subsistema : Enframiento			OPERACIÓN A REALIZAR	PUNTO DE APLICACIÓN	FREC.	INSPECCIÓN / DETECCIÓN		RECAMBIO / MATERIAL	DESCRIPCIÓN
MODOS DE FALLA	EFECTOS DE FALLA	N.P.R				OPERACIÓN	FREC.	OPERACIÓN	
Fuga de Refrigerante por Mangueras deterioradas	Alta temperatura de refrigerante. Las escamas y depósitos pueden ocasionar fallas en el sistema de enfriamiento si aíslan el refrigerante de los componentes que requieren ser enfriados. La transferencia de calor reducida al refrigerar	152	Inspeccion a Mangueras	Mangueras, uniones, niples. Sistema Enfriamiento	Revisión en Campo (semanal)				Mejorar la calidad de las uniones y mangueras
Fuga de Refrigerante por Culata fisurada	Alta temperatura de refrigerante. Las escamas y depósitos pueden ocasionar fallas en el sistema de enfriamiento si aíslan el refrigerante de los componentes que requieren ser enfriados. La transferencia de calor reducida al refrigerar	153	Inspeccion con Líquido Revelante las posibles fisuras	Culata	Revisión en Campo (semanal)				
Fuga de Refrigerante por Sellos de termostato deteriorados	Alta temperatura de refrigerante. Las escamas y depósitos pueden ocasionar fallas en el sistema de enfriamiento si aíslan el refrigerante de los componentes que requieren ser enfriados. La transferencia de calor reducida al refrigerar	256	Inspeccionar Sellos de Termistato	Sellos de Termostato	Cada PM Mensual	Cambiar Termostato	5,000 Hr.		

Fuente: Elaboración Propia, Manual Operación y Mantenimiento Cummins QSK60

ANEXO 10

HOJA DE DECISION: SISTEMA ADMISION DE AIRE
MOTOR CUMMINS QSK60

Hoja de Decisión			MANTENIMIENTO PREDICTIVO			MANTENIMIENTO PREVENTIVO POR INSPECCIÓN		MANTENIMIENTO PREVENTIVO POR	REDISEÑO / MEJORA	
Subsistema : Admision de Aire			N.P.R.	OPERACIÓN A REALIZAR	PUNTO DE APLICACIÓN	FREC.	INSPECCIÓN / DETECCIÓN		RECAMBIO / MATERIAL	DESCRIPCIÓN
MODOS DE FALLA	EFECTOS DE FALLA	OPERACIÓN					FREC.	OPERACIÓN		
Pistón rajado/quebrado o camisa de cilindro dañada.	Alta presión de cárter. Compresión baja. Pérdida de potencia	836	Inspeccion visual y de condiciones de componentes.	Pistones, Camisas, Bielas	en los PM mensual	Cambio de Piston, Camisas	10,000 Hr.		Llevar registro de tendencias de Pistones, camisas (Incluir bielas)	
Falta de lubricacion de Cojinetes del soplador	Soplador funciona forzadamente y no proporciona masa de aire adecuado	175				Engrasar Cojinetes, según Manual	300 Hr.			
Filtro de Aire obstruido	Hay poco flujo de aire, combustión Incompleta, baja portencia del motor	64						En caso de obstruccion Cambiar filtro		

Fuente: Elaboración Propia Manual Operación y Mantenimiento Cummins QSK60

ANEXO 11

HOJA DE DECISION: SISTEMA ELECTRICO
MOTOR CUMMINS QSK60

Hoja de Decisión			MANTENIMIENTO PREDICTIVO			MANTENIMIENTO PREVENTIVO POR INSPECCIÓN		MANTENIMIENTO PREVENTIVO POR	REDISEÑO / MEJORA
Subsistema : Electrico			OPERACIÓN A REALIZAR	PUNTO DE APLICACIÓN	FREC.	INSPECCIÓN / DETECCIÓN		RECAMBIO / MATERIAL	DESCRIPCIÓN
MODOS DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA	N.P.R.				OPERACIÓN	FREC.	OPERACIÓN	
Conexiones eléctricas dañadas o sueltas.	Motor no parte, equipos parado	180				Inspeccion de Cables electricos (bateria, panel de	300 Hr.		
Inducido (Rotor) del motor de arranque quemado	Motor de arranque no gira	40	Analisis, Pruebas del Sistema de Arranque	Motor de Arranque	PM Mensual				
Dientes del piñón del motor de arranque fracturados.	Dependiendo del grado de fractura es posible que no alcancen a engranar correctamente los dientes y el volante no alcance la inercia necesaria para que parta el motor	44	Analisis mecanico (fatiga) de los engranajes (volante)	Engranajes del Volante	5000 Hr.				llevar registro de las tendencias de desgaste del Pinon
Regulador de carga del alternador quemado.	Bateria no cargará, el sistema de protección se encuentra inoperativo debido a la falta de electricidad	64				Revisar el Alternador	5,000 Hr.		

Fuente: Elaboración P opla Manual Operación y Mantenimiento Cummins QSK60

ANEXO 12

MANUAL DE MANTENIMIENTO DEL MOTOR CUMMINS QSK60

Maintenance Schedule

General Information

All Maintenance procedures listed for previous intervals must also be performed.

For convenience, listed below are the section numbers that contain specific instructions for performing the maintenance.

Daily Maintenance Checks

- Lubricating Oil Level – Check
- Coolant Level Check
- Air Cleaner Restriction - Check

Every 250 Hour – Maintenance Check

- Supplemental Coolant additives and antifreeze Check
- Spark Plugs – Inspect
- Electrical Connection Engine - Inspect
- Lubricant Oil and Filters Replace
- Lubricant Oil Filters (Spin On) – Replace
- Flexible Hoses - Inspect
- Charge Air Piping – Inspect

Every 500 Hour – Maintenance Check

- Air Cleaner Element - Replace
- Spark Plugs – Replace
- Lubricating Oil and Filters – Replace
- Overhead Set – Check

Every 1000 Hour – Maintenance Check

- Turbocharger Axial Clearance – Check
- Turbocharger Radial Clearance – Check
- Crankcase Breather Tube – Inspect
- Engine Mounts – Inspect.

Every 2500 Hour – Maintenance Check

- Crankcase Ventilation Re-Circulator Element – Replace
- Fuel Filter NG – Replace

Every 5000 Hour – Maintenance Check

- Aftercooler Clean and Inspect
- Camshaft – Inspect
- Control Panel Assembly - Inspect

- Coolant Thermostat – Replace
- Cooling System – Drain, Flush and Refill
- Cylinder Head – Replace
- Electrical Connection, Generator – Inspect
- Flexible coupling, generator – Inspect
- Fuel Line Seals – Inspect
- Fuel Regulator – Replace
- Gear Train Backlash, Front – Check
- Push Rods or tubes – inspect
- Batteries – Replace
- Cam Follower Assembly - Inspect
- Water Pump Replace

Every 10000 Hour – Maintenance Check

- Piston Rings - Replace
- Cylinder Liner – Replace
- Coil and Plugs – Replace
- Lubricating Oil Pump – Replace
- Fuel Solenoid – Replace
- Bearing, Connecting Rod – Replace
- Turbocharger – Replace

Every 20000 Hour – Maintenance Check

- Bearing, Main – Replace
- Bearing Thrust – Replace
- Camshaft Bushings – Replace
- Camshaft Thrust Bearing – Replace
- Camshaft Front Seal – Replace
- Crankshaft Rear Seal – Replace
- Bellows – Replace
- Flexible coupling Generator – Replace
- Pistons – Replace
- Piston Cooling Nozzles – Clean and Inspect
- Vibration Damper, Viscous – replace
- Lubricating Oil Cooler – Replace
- Aftercooler – Replace
- Electronic Control modules – Replace
- Generator (Alternator) Main Bearing - Replace
- Generator (Alternator) Exciter Rotating Diodes - Replace
- Generator (Alternator) Winding – Clean and Inspect

ANEXO 13

EVOLUCION MENSUAL DE LOS KPI'S DEL MOTOR DEL EQU PO TK21

	dic-2006	ene-2007	feb-2007	mar-2007	abr-2007	may-2007	jun-2007	jul-2007	ago-2007	sep-2007	oct-2007	nov-2007	dic-2007	ene-2008	feb-2008
Disp Acum (Equipo)	90.43	89.55	88.69	90.75	90.88	89.94	88.06	88.18	84.18	82.87	83.85	85.96	85.07	87.19	82.26
Disp Mensual (Equipo)	90.43	86.64	92.16	90.38	91.33	88.79	88.37	89.47	72.27	81.34	85.80	89.47	88.57	92.32	30.27
Est Disp (Equipo)	90.00	92.00	92.00	90.00	92.00	91.00	91.00	89.00	92.00	92.00	92.00	91.00	89.00	93.00	93.00
Est Conf (Motor)	94.00	94.00	94.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	96.00	96.00	96.00	96.00	96.00	96.00	96.00
L.I Conf (Motor)	89.30	89.30	89.30	90.25	90.25	90.25	90.25	90.25	91.20	91.20	91.20	91.20	91.20	91.20	91.20
Confiabilidad (Motor)	93.60	92.01	93.37	92.65	94.93	93.14	91.33	92.49	87.49	85.90	83.26	84.40	83.74	84.83	84.17
MTBF (Motor)	362.72	288.04	349.97	314.60	461.59	337.59	264.77	307.54	179.52	157.92	130.98	141.47	135.21	145.92	139.30

nfe: Elab ción Propia, Datos Dispa

**RESUMEN DE LOS COSTOS INCURRIDOS EN EL CICLO DE VIDA DE
LOS MOTORES CUMMINS QSK60 DE LA FLOTA 930E**

ANEXO 14

Costo Petroleo USD (2009)		FLOTA VOLQUETES 930 E														
		2.3025	QSK60	QSK60	QSK60	QSK60	QSK60	QSK60	QSK60	QSK60	QSK60	QSK60	QSK60	QSK60		
Motor Díesel SQK 60	Datos del Motor	Equipo	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T128	T121	T122	T123	T127	T120	T122	
		Serie	33155712	33167003	33156803	33156827	33161264	33161262	33162411	33162406	33156830	33156803	33167829	33175635	33175668	
		Horas Entrada	0	3878.9	0	0	0	0	0	1288	1330	4115.8	0	0	0	
		Hrs Limite	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	
		Fecha Instalación	19-Oct-07	13-Jan-08	20-Mar-08	27-Mar-04	2-Feb-06	7-Feb-06	08-ago-06		2-Dec-06	21-Dec-08	26-Jan-09	6-Aug-07	28-Mar-09	11-Apr-09
		Condicion Entrada	Motor Reparacion Total	Motor Reparacion Garantia	Motor Reparacion Total	Equipo Nuevo	Equipo Nuevo	Equipo Nuevo	Equipo Nuevo	Equipo Reparado Garantia (Nuevo)	Motor Separado Nuevo	Motor Reparado Garantia	Motor Nuevo	Equipo Nuevo	Equipo Nuevo	
		Fecha Salida	15-may-08	03-abr-09	20-ene-08	13-feb-08	18-abr-09	01-mar-09	26-jun-08	04-mar-08	29-mar-07	10-jun-09	04-jun-08	28-mar-09	11-abr-09	
		Hrs Trabajadas	3787.9	8093.8	4115.8	22493.3	22783	21846	20540.2	8082	1939.5	2623.8	6021.7	9	0.001	
		% Vida	19%	40%	21%	112%	114%	109%	103%	45%	10%	13%	30%	0%	0%	
		Motivo Salida	FALLA DE MOTOR DIESEL POR ALTO IIA	Salida por Cambio de Motor, debido a que estuvo parado por mandos finales	FALLA DE VALVULA DE ESCAPE UNIDAD 7R	LIMITE DE HORAS	LIMITE DE HORAS	LIMITE DE HORAS	Limite de Horas	Falta de Biela SR y SL provoca Ruptura de Block	SALE POR RUPTURA DE BIELAS BR Y RL	FOR FALLA DE VALVULA DE ESCAPE UNIDAD 4L	PRESENTO FALLA DE CULATA Y CILINDRO 4L	Ruptura de Bielas y Block	Bielas 6L y 6R recaloradas, Metal de bancadas recaloradas	
	Asume Costo de Salida	Asume MITSUI con Reclamo 2810		Asume MITSUI con Reclamo 2680	Asume SPCC con OIC 42827		Asume SPCC con OIC 063572		Asume MITSUI con Garantia 2787	Asume MITSUI ya que era su Propiedad	Asume MITSUI con Reclamo 2928	Asume MITSUI con Reclamo 2816	Asume MITSUI con Reclamo 2904	Proceso de Reclamo a MITSUI 2908		
	Indicadores	Disponibilidad	86.46%	85.58%	91.21%	89.43%	91.11%	91.72%	91.07%	93.16%	92.93%	89.61%	84.25%	0.00%	0.00%	
		Confiability	83.24%	87.98%	87.69%	91.18%	94.05%	92.15%	86.38%	90.15%	95.04%	83.35%	80.44%	0.00%	0.00%	
		% Total Demoras por Motor	10.2%	15.4%	9.9%	18.6%	14.5%	20.1%	21.0%	19.0%	11.4%	29.8%	25.4%	100.0%	100.0%	
Combustible (Gls/Hora)		43.0	48.9	47.2	40.4	43.7	43.5	43.7	38.9	39.2	46.6	43.4	0.0	0.0		
Tons / Galon		15.5	12.6	13.6	18.5	14.8	15.1	14.6	16.6	15.2	11.6	15.5	0.0	0.0		
Costos	Combustible Consumido (Gls)	163,362	395,668	194,349	908,251	994,057	950,132	898,422	353,160	76,101	122,200	261,171	0	0		
	Costo Combustible \$	\$376,141	\$911,026	\$447,489	\$2,091,248	\$2,288,816	\$2,187,679	\$2,066,617	\$813,151	\$175,223	\$281,366	\$601,346	\$0	\$0		
	Costo del Motor / Reparación	\$254,169.76	\$0.00	\$258,625.53	\$314,000.00	\$314,000.00	\$314,000.00	\$314,000.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$339,400.00	\$353,700.00	\$353,700.00		
	Orden de Compra	Q32401	2772	Q40001				P96651	2652		2860	Q24553	Q51631	Q51631		
Costo Total	\$630,310.77	\$911,025.57	\$706,114.10	\$2,405,247.93	\$2,602,816.24	\$2,501,678.93	\$2,382,616.66	\$813,150.90	\$175,222.53	\$281,365.50	\$940,746.23	\$353,700.00	\$353,700.00			

ANEXO 15

MODELO DE LA BASE DE DATOS DISPATCH, UNIDAD TOQUEPALA

DEMORAS DEL VOLQUETE T14

MOTOR 80060 - 1RA GEN

Datos del		19-Oct-07	al	15-Abr-08					
Equipo	Fecha	Hora	Duración	Estados	Cod.	Categoría	Razon	Comentarios	TIPO
T14	19 Oct 07	7:30:00	38:32:13	Malograd	202	MntProg	MANT. PREVENTIVO	PM	PM
T14	21 Oct 07	8:42:12	0:10:58	Demora	205	Servicio	SERVICIO/LUBRICANDO		LUBRICACION
T14	21 Oct 07	22:58:50	0:14:51	Demora	205	Servicio	SERVICIO/LUBRICANDO		LUBRICACION
T14	21 Oct 07	23:25:02	0:11:54	Demora	210	MntNoProg	LLANTAS	LLANTA 6 OLORA QUEMADO	LLANTAS
T14	21 Oct 07	23:36:56	2:23:04	Malograd	210	MntNoProg	LLANTAS	LLANTA 6 BAJA	LLANTAS
T14	22 Oct 07	8:39:44	0:19:16	Demora	205	Servicio	SERVICIO/LUBRICANDO		LUBRICACION
T14	22 Oct 07	15:24:38	0:01:25	Demora	250	MntNoProg	MOTOR PRINCIPAL DIESEL/ELEC.		MOTOR DIESEL
T14	22 Oct 07	20:31:42	0:31:29	Demora	250	MntNoProg	MOTOR PRINCIPAL DIESEL/ELEC.	PERDIO FUERZA	MOTOR DIESEL
T14	22 Oct 07	21:50:41	0:20:32	Malograd	250	MntNoProg	MOTOR PRINCIPAL DIESEL/ELEC.	PERDIO FUERZA	MOTOR DIESEL
T14	23 Oct 07	0:04:12	0:55:25	Malograd	250	MntNoProg	MOTOR PRINCIPAL DIESEL/ELEC.	PERDIO FUERZA	MOTOR DIESEL
T14	23 Oct 07	3:45:32	0:15:07	Demora	205	Servicio	SERVICIO/LUBRICANDO		LUBRICACION
T14	23 Oct 07	11:56:47	0:22:05	Demora	205	Servicio	SERVICIO/LUBRICANDO		LUBRICACION
T14	24 Oct 07	2:46:16	0:18:16	Demora	205	Servicio	SERVICIO/LUBRICANDO		LUBRICACION
T14	24 Oct 07	8:02:11	0:25:14	Demora	205	Servicio	SERVICIO/LUBRICANDO		LUBRICACION
T14	24 Oct 07	9:13:16	0:03:17	Demora	250	MntNoProg	MOTOR PRINCIPAL DIESEL/ELEC.	LUZ A M D	MOTOR DIESEL
T14	24 Oct 07	9:16:33	1:25:11	Malograd	286	MntNoProg	MANDOS Y CONTROL	SIN MARCIA	ELECTRICO
T14	24 Oct 07	10:55:58	0:02:22	Malograd	250	MntNoProg	MOTOR PRINCIPAL DIESEL/ELEC.	LUZ A M D	MOTOR DIESEL
T14	24 Oct 07	11:39:11	0:01:57	Malograd	250	MntNoProg	MOTOR PRINCIPAL DIESEL/ELEC.	LUZ A M D	MOTOR DIESEL
T14	24 Oct 07	12:29:33	0:01:37	Demora	250	MntNoProg	MOTOR PRINCIPAL DIESEL/ELEC.	LUZ A M D	MOTOR DIESEL
T14	24 Oct 07	12:42:13	0:13:43	Demora	250	MntNoProg	MOTOR PRINCIPAL DIESEL/ELEC.	LUZ A M D	MOTOR DIESEL
T14	24 Oct 07	15:13:28	0:15:34	Demora	250	MntNoProg	MOTOR PRINCIPAL DIESEL/ELEC.	LUZ A M D	MOTOR DIESEL
T14	24 Oct 07	15:33:41	0:07:42	Demora	250	MntNoProg	MOTOR PRINCIPAL DIESEL/ELEC.	LUZ A M D	MOTOR DIESEL
T14	24 Oct 07	15:41:23	3:48:37	Malograd	250	MntNoProg	MOTOR PRINCIPAL DIESEL/ELEC.	LUZ A M D	MOTOR DIESEL
T14	24 Oct 07	19:30:00	0:56:51	Malograd	250	MntNoProg	MOTOR PRINCIPAL DIESEL/ELEC.	LUZ A M D	MOTOR DIESEL
T14	25 Oct 07	0:47:34	0:10:32	Demora	205	Servicio	SERVICIO/LUBRICANDO		LUBRICACION
T14	25 Oct 07	11:07:33	0:08:46	Demora	205	Servicio	SERVICIO/LUBRICANDO		LUBRICACION
T14	26 Oct 07	4:39:55	0:11:02	Demora	205	Servicio	SERVICIO/LUBRICANDO		LUBRICACION
T14	26 Oct 07	10:38:42	0:26:22	Demora	205	Servicio	SERVICIO/LUBRICANDO		LUBRICACION
T14	27 Oct 07	1:20:19	0:09:58	Demora	205	Servicio	SERVICIO/LUBRICANDO		LUBRICACION
T14	27 Oct 07	9:58:15	0:17:37	Demora	205	Servicio	SERVICIO/LUBRICANDO		LUBRICACION
T14	27 Oct 07	15:12:41	0:17:19	Demora	210	MntNoProg	LLANTAS	NIVELANDO PRESIONES	LLANTAS
T14	27 Oct 07	19:51:49	0:08:06	Demora	205	Servicio	SERVICIO/LUBRICANDO		LUBRICACION
T14	28 Oct 07	9:54:36	0:25:24	Demora	205	Servicio	SERVICIO/LUBRICANDO		LUBRICACION
T14	29 Oct 07	8:29:43	0:26:13	Demora	205	Servicio	SERVICIO/LUBRICANDO		LUBRICACION
T14	30 Oct 07	3:31:23	0:03:43	Demora	396	EspMant	ESPERANDO MIS		ESPERA MEC
T14	30 Oct 07	3:35:06	0:33:06	Malograd	250	MntNoProg	MOTOR PRINCIPAL DIESEL/ELEC.	SIN FUERZA	MOTOR DIESEL
T14	30 Oct 07	9:42:06	0:13:11	Demora	205	Servicio	SERVICIO/LUBRICANDO		LUBRICACION
T14	31 Oct 07	0:02:04	0:10:55	Demora	205	Servicio	SERVICIO/LUBRICANDO		LUBRICACION
T14	31 Oct 07	11:44:03	0:15:01	Demora	205	Servicio	SERVICIO/LUBRICANDO		LUBRICACION
T14	31 Oct 07	23:22:11	0:02:53	Demora	205	Servicio	SERVICIO/LUBRICANDO		LUBRICACION
T14	1 Nov 07	10:09:03	0:07:04	Demora	205	Servicio	SERVICIO/LUBRICANDO		LUBRICACION
T14	2 Nov 07	0:02:50	0:04:42	Demora	205	Servicio	SERVICIO/LUBRICANDO		LUBRICACION
T14	2 Nov 07	12:46:47	0:01:18	Demora	205	Servicio	SERVICIO/LUBRICANDO		LUBRICACION
T14	2 Nov 07	23:10:41	0:04:57	Demora	205	Servicio	SERVICIO/LUBRICANDO		LUBRICACION
T14	3 Nov 07	8:30:55	0:18:30	Demora	205	Servicio	SERVICIO/LUBRICANDO		LUBRICACION
T14	3 Nov 07	22:26:34	0:04:58	Demora	205	Servicio	SERVICIO/LUBRICANDO		LUBRICACION
T14	4 Nov 07	0:19:27	0:08:44	Demora	205	Servicio	SERVICIO/LUBRICANDO		LUBRICACION
T14	4 Nov 07	9:47:25	0:24:48	Demora	205	Servicio	SERVICIO/LUBRICANDO		LUBRICACION
T14	4 Nov 07	23:27:07	0:08:48	Demora	205	Servicio	SERVICIO/LUBRICANDO		LUBRICACION
T14	5 Nov 07	6:44:43	0:45:17	Malograd	202	MntProg	MANT. PREVENTIVO	PM	PM
T14	5 Nov 07	7:30:00	7:34:55	Malograd	202	MntProg	MANT. PREVENTIVO	PM	PM
T14	6 Nov 07	3:42:24	0:03:23	Demora	205	Servicio	SERVICIO/LUBRICANDO		LUBRICACION
T14	6 Nov 07	11:03:31	0:11:55	Demora	205	Servicio	SERVICIO/LUBRICANDO		LUBRICACION
T14	7 Nov 07	0:55:35	0:09:20	Demora	205	Servicio	SERVICIO/LUBRICANDO		LUBRICACION
T14	8 Nov 07	9:01:02	0:20:50	Demora	205	Servicio	SERVICIO/LUBRICANDO		LUBRICACION
T14	8 Nov 07	13:38:28	0:11:39	Demora	396	EspMant	ESPERANDO MIS	NO ARRANCA	ESPERA MEC
T14	8 Nov 07	22:23:43	0:17:45	Demora	205	Servicio	SERVICIO/LUBRICANDO		LUBRICACION
T14	9 Nov 07	9:07:18	0:09:07	Demora	205	Servicio	SERVICIO/LUBRICANDO		LUBRICACION
T14	9 Nov 07	22:30:38	0:10:42	Demora	205	Servicio	SERVICIO/LUBRICANDO		LUBRICACION
T14	10 Nov 07	1:04:58	0:42:45	Demora	250	MntNoProg	MOTOR PRINCIPAL DIESEL/ELEC.		MOTOR DIESEL
T14	10 Nov 07	8:47:13	0:15:24	Demora	205	Servicio	SERVICIO/LUBRICANDO		LUBRICACION
T14	10 Nov 07	13:35:24	0:05:20	Demora	286	MntNoProg	MANDOS Y CONTROL	NO ARRANCA	ELECTRICO
T14	10 Nov 07	13:40:44	5:40:16	Malograd	286	MntNoProg	MANDOS Y CONTROL	NO ARRANCA	ELECTRICO
T14	10 Nov 07	19:30:00	12:42:46	Malograd	286	MntNoProg	MANDOS Y CONTROL	NO ARRANCA	ELECTRICO
T14	11 Nov 07	11:25:58	0:14:52	Demora	205	Servicio	SERVICIO/LUBRICANDO		LUBRICACION
T14	11 Nov 07	12:18:11	0:02:58	Demora	250	MntNoProg	MOTOR PRINCIPAL DIESEL/ELEC.	AMBAR MD	MOTOR DIESEL
T14	11 Nov 07	12:21:09	0:14:53	Malograd	250	MntNoProg	MOTOR PRINCIPAL DIESEL/ELEC.	AMBAR MD	MOTOR DIESEL
T14	11 Nov 07	23:32:59	0:08:48	Demora	205	Servicio	SERVICIO/LUBRICANDO		LUBRICACION

Fuente: Datos Dispatch

ANEXO 16

PASOS PARA LA ELECCION DE UN PROVEEDOR DE MANTENIMIENTO

Paso 1: Recopilación de información

Se realiza la recopilación de la información del tipo de Equipo a reparar, además de localizar dentro de la instalación el lugar que ocupan los equipos, determinar los de mayor complejidad e importancia para el proceso productivo. Después se debe realizar un análisis del plan de mantenimiento de cada uno de los equipos, para poder determinar la situación actual de cada uno de ellos en lo que a esta actividad se refiere.

Este primer paso resulta fundamental pues con el mismo se logra tener un pleno conocimiento de la situación, en cuanto a mantenimiento se refiere, de los equipos, el nivel de importancia de los mismos dentro del proceso productivo, además de su estado técnico y recursos necesarios para realizar su mantenimiento.

Paso 2: Análisis de la disponibilidad de recursos para realizar la actividad de mantenimiento en la empresa

En este paso se realiza un análisis de toda la información recopilada anteriormente en función de comparar los recursos (personal, materiales,...) necesarios para realizar cada actividad de mantenimiento planificada y/o Reparaciones con los disponibles.

En el análisis se debe realizar un balance entre las necesidades de recursos de cada una de las actividades de mantenimiento planificadas más una reserva para imprevistos y la disponibilidad del recurso que se está analizando.

De este paso se derivaran dos posibles decisiones:

No se dispone de los recursos necesarios. (Pasar al Paso 4)

La empresa dispone de dichos recursos. (Pasar al Paso 3)

Paso 3: Análisis de la factibilidad económica de realizar el mantenimiento con medios propios.

El objetivo de este paso consiste en analizar, desde el punto de vista económico, si a la empresa le es factible llevar a cabo por su cuenta, con los recursos de que dispone, las actividades de mantenimiento planificadas. Para ello se debe analizar qué resulta más conveniente para la empresa, contratar el servicio de mantenimiento o realizarlo con medios propios. En dicho análisis se deben tener en cuenta una serie de partidas de costo para cada una de las alternativas de decisión, las cuales son explicadas a continuación

a) *Costo de ejecutar las tareas de mantenimiento por la propia organización*

Este término se puede presentar en dos variantes:

El mantenimiento se realiza de forma planificada: en este caso el costo de las tareas de mantenimiento estaría compuesto por las siguientes partidas:

Salario: es lo que se paga de salario a los obreros que ejecutarán las labores de mantenimiento. Esta partida se verá afectada frecuentemente por las pérdidas de tiempo en espera de materiales, espera de detención de los equipos, espera que otras especialidades terminen sus actividades.

Costo de las piezas de repuesto: es el costo de la pieza que se va a reponer en la máquina.

Costo de inventario: es el costo de mantener la pieza en inventario. En muchas compañías pueden llegar a generarse niveles de inventario de un 30% mayor a lo necesario, por lo que se hace necesario garantizar una administración inteligente del inventario y por consiguiente de las compras de la entidad.

O sea, para este caso el costo de mantenimiento se obtendría de sumar todas las partidas en que se incurre para realizar el mantenimiento.

Se realiza el mantenimiento al presentarse una rotura imprevista: en este caso la organización debe tener en cuenta, además del costo asociado a realizar las labores de mantenimiento, las pérdidas que se originan por concepto de las interrupciones no planificadas que se ocasionan en la producción. La detención de un camión origina una baja en la productividad.

Para la determinación de las pérdidas por concepto de interrupciones no planificadas a la producción se propone utilizar la expresión siguiente:

$$\text{Perdida por Interrupciones} = T_{\text{Reparacion}} \times NrCBotella \times \text{CostoUnidad}$$

donde:

$T_{\text{Reparacion}}$: Tiempo desde el instante en que se produce la rotura hasta el instante en que el equipo recupera sus condiciones operativas [horas]

$NrCBotella$: Norma de rendimiento del equipo limitante o Cuello de Botella de la línea donde se produce la rotura de imprevisto [Unidades/hora]. En caso que el tipo de producción sea seriada se utilizaría la información correspondiente al procesamiento del producto representante tipo.

CostoUnidad : Costo por unidad o el valor que agrega esta máquina en el momento de la rotura

El costo de ejecutar las tareas de mantenimiento se obtendría de sumar el costo de mantenimiento con las pérdidas por concepto de interrupciones, o sea, como indica la expresión siguiente:

$$\text{Costo Total Mantto} = \text{Costo de Ejecutar tareas de Mantto} + \text{Perdidas por Imprevistos}$$

b. Costo por concepto de Tercerizar las actividades de Mantenimiento (CTTerc).

Este término se refiere a lo que cuesta establecer un contrato con otra empresa para que se encargue de realizar algunos o la totalidad de los servicios de mantenimiento a determinado equipo o a todo el equipamiento productivo, o sea, lo que cobra la empresa seleccionada por prestar los servicios que se necesitan. En este caso se hace necesario seleccionar el proveedor de los servicios a contratar, para ello proponemos utilizar la siguiente metodología:

Evaluación y selección de los proveedores.

En la selección de proveedores debemos tener presente que para ello debemos aplicar dos enfoques:

Selección de proveedores para un servicio en específico: esta se utiliza para servicios de baja prioridad para la actividad de la empresa.

Selección de proveedores para establecer vínculos estables para determinados servicios: este enfoque es conveniente cuando son servicios que juegan un papel preponderante en la producción, en su calidad y su costo. En estos casos la contratación de un proveedor se realiza para medianos y largos plazos con el objetivo de establecer planes conjuntos de mejoramiento del valor del servicio que se vaya a realizar. El proceso de selección se propone realizarlo a través de los siguientes pasos:

1. Obtención de la información del mercado.
2. Formación de los criterios de valoración.
3. Determinación de la ponderación de cada criterio de valoración.
4. Definición de los posibles proveedores.
5. Valoración de cada proveedor según cada criterio.
6. Obtención de la valoración integral de cada proveedor.
7. Selección del proveedor.

La obtención de la información del mercado tiene como objetivo caracterizar los distintos proveedores existentes en el segmento del servicio en que está interesada la empresa, las principales regularidades y tendencias existentes en cuanto a precios, calidad, innovación, condiciones financieras, entre otras.

La formación de los criterios de valoración es la definición de los criterios que específicamente son de interés de la empresa a tener en cuenta para evaluar y seleccionar al proveedor de determinado servicio. Estos criterios

deben seleccionarse de acuerdo a las características técnicas y económicas del proceso de la empresa, su estrategia, la problemática del entorno y las características del mercado de venta del producto final de la empresa.

La determinación de la ponderación de cada criterio de valoración consiste en establecer, para cada uno de los criterios definidos, cuál debe ser la ponderación que debe dársele en el proceso de valoración de cada proveedor. La suma de la ponderación de todos los criterios seleccionados debe totalizar 100 puntos.

La definición de los posibles proveedores se realiza sobre la base de la información recopilada en el mercado y de las ofertas recibidas.

La valoración de cada proveedor según cada criterio consiste en realizar la valoración de cada criterio a cada proveedor. Esta valoración puede hacerse sobre la base de una escala de 1 a 5 puntos. El valor de 5 puntos coincide con una calificación excelente y así sucesivamente para las calificaciones de bien (4), regular (3), mal (2), muy mal (1). Para realizar la valoración se utilizan paneles de expertos.

$$Puntuacion\ Total = \sum (Ponderacion\ del\ Criterio \times Calificacion\ del\ Criterio) / 100$$

La valoración integral de cada proveedor se realiza integrando la valoración realizada de todos los criterios para cada proveedor.

Esta valoración permite obtener la puntuación total que corresponde a cada posible proveedor. La puntuación total de un proveedor se obtiene de la forma siguiente:

Además de la puntuación total que corresponde a cada proveedor debe realizarse un balance de cuáles son las principales debilidades (criterios en que la calificación de regular o menor) y las principales fortalezas (criterios en que la calificación es bien o excelente). Esto es de vital importancia ya

que en muchos casos en determinados criterios se fijan parámetros de calificación mínima por el papel que juega dicho parámetro en la competitividad de la empresa. La obtención de una puntuación por debajo de dicho límite invalida al proveedor en cuestión.

La selección del proveedor consiste en determinar el proveedor con que se establecerá la relación de suministro del servicio. Esta selección debe recaer en el proveedor de mayor puntuación, aunque deben analizarse otros aspectos, tales como: debilidades y fortalezas de cada proveedor, afinidad del proveedor con la empresa y otros criterios. Incluso una determinada empresa puede establecer que para ser su proveedor debe superar una puntuación mínima establecida.

Una vez calculado el costo de realizar el mantenimiento por medios propios y de seleccionar la empresa que prestará el servicio en caso que sea contratado; se pasa a tomar la decisión, la cual puede arrojar los siguientes resultados:

Realizar las actividades de mantenimiento programadas con medios propios cuando el costo total de mantenimiento es inferior al costo de contratación.

Contratar los servicios cuando este resulta más factible para la empresa que realizarlas por medios propios. Se deben tener en cuenta los aspectos negativos (evaluación cualitativa) que puede ocasionar la tercerización. En caso de tomarse esta decisión se deben establecer las métricas a través de las cuales se medirá el trabajo de la empresa contratada. Se recomienda realizar el control a través de resultados, dados estos en términos de disponibilidad, eficiencia y confiabilidad, siempre estableciendo el nivel de servicio esperado de forma que el contratista se involucre como parte de la empresa para que exista un beneficio mutuo de esta mejora.

Paso 4: Análisis de factibilidad de adquirir los recursos necesarios

El objetivo de este paso consiste en analizar si económicamente que le es más factible a la empresa adquirir los recursos necesarios para realizar las actividades de mantenimiento o tercerizar su ejecución. Para ello se debe proceder a realizar la siguiente comparación:

[Costo Adquisicion + Costo Total Mantto] Vs Costo de Tercerizacion de Mantto

Después de realizada la comparación se procederá a tomar la decisión de adquirir o no los recursos necesarios, la misma estará dada por lo siguiente:

Se deben adquirir los recursos si la suma del costo de adquisición y el costo total

de ejecutar las tareas de mantenimiento es inferior al costo de tercerización del mantenimiento.

Se debe tercerizar el mantenimiento si el costo de ello es inferior al costo de adquirir los recursos con los que no se cuenta sumado al costo total de realizar las tareas de mantenimiento.

Debe aclararse que la partida de costo de adquisición comprende además, todo el proceso de adaptación de estos nuevos recursos al contexto de la empresa; si es personal calificado, adaptarse a su nuevo de trabajo y en caso de que se adquiriera equipamiento especializado, la superación del personal que lo vaya a operar.

Paso 5: Aplicación y seguimiento

Una vez que en el paso tres se decida realizar las tareas de mantenimiento con medios propios o que en el paso cuatro se haya decidido adquirir los recursos necesarios para desarrollar las actividades de mantenimiento programadas se pasará a llevar a efecto la concreción de las tareas planificadas con vistas a garantizar con las mismas la anhelada disponibilidad del equipamiento productivo y se le dará el necesario seguimiento con vistas a garantizar su oportuna evaluación mejora.