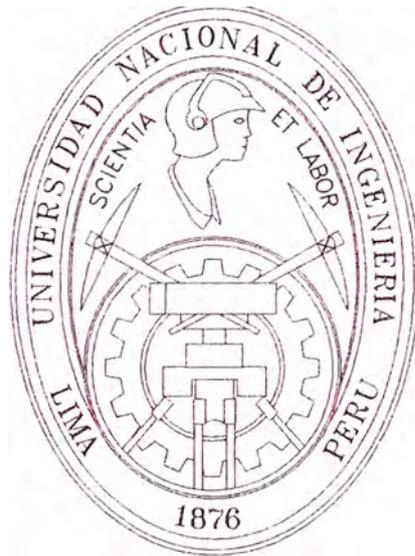


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA**



**IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE MANTENIMIENTO CENTRADO
EN LA CONFIABILIDAD DEL SISTEMA HIDRAULICO DE LOS
CARGADORES KOMATSU WA1200**

INFORME SUFICIENCIA

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

ANDERSON MALDONADO TRIVEÑO

PROMOCION 2005-II

ABRIL 2010

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
TABLA DE CONTENIDO	II
PROLOGO	1
1 INTRODUCCIÓN	3
1.1 ANTECEDENTES	4
1.2 OBJETIVO	5
1.2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
1.3 ALCANCE	6
1.4 LIMITACIONES	6
1.5 JUSTIFICACIÓN	6
2 MARCO TEÓRICO (GENERALIDADES SOBRE IMPLEMEN TACIÓN)	8
2.1 EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO	8
2.1.1 CONCEPTO DE MANTENIMIENTO	10
2.2 MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD	11
2.2.1 HISTORIA DE RCM	11
2.2.2 CONCEPTO Y DESCRIPCIÓN DEL RCM	12
2.3 DESCRIPCION DE CARGADORES FRONTALES KOMATSU MODELO WA200	13
2.3.1 PARTES DEL SISTEMA HIDRÁULICO DE UN CARGADOR FRONTAL KOMATSU WA 1200	13
2.3.2 INDICADORES DE LOS CARGADORES KOMATSU WA1200	14
2.3.3 EQUIPO DE TRABAJO	16
3 IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD DEL SISTEMA HIDRAUCIO EN CARGADORES KOMATSU WA1200	18

3.1 PLANIFICACIÓN	19
3.1.1 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	19
3.1.2 INDICADORES ANTES DE INICIAR EL RCM	20
3.1.3 IDENTIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS CRÍTICOS	23
3.1.4 PLANIFICACIÓN DE GRUPOS DE TRABAJO	33
3.1.5 ESTRUCTURA DE DESGLOSE DEL TRABAJO EDT	34
3.2 ANÁLISIS FUNCIONAL	35
3.2.1 DIAGRAMA ENTRADA FUNCIÓN SALIDA	35
3.2.2 ANÁLISIS FUNCIONAL DE LA MINA PIERINA	40
3.2.3 EQUIPOS PRINCIPALES DE LA FLOTA MINA EN PIERINA	40
3.3 DESARROLLO DEL DIAGRAMA CAUSA - EFECTO	41
3.4 EFECTOS DE FALLA	42
3.5 DESARROLLO DE LOS FMECA'S (IMPLEMENTACION DE RCM)	46
3.6 DESARROLLO DE AGRUPADOS DE TAREAS IMPLEMENTACION	48
4 COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN DE RCM	49
4.1 COSTOS DE MANTENIMIENTO PRORRATEADOS AL COSTO DE US\$/HR PARA EL AÑO 2009	50
4.2 OBSERVACIONES	63
5 BENEFICIOS DE IMPLEMENTACIÓN DE RCM EN LOS CARGADORES KOMATSU WA1200	66
5.1 DISPONIBILIDAD	66
5.2 CONFIABILIDAD	67
CONCLUSIONES	68
RECOMENDACIONES	69
BIBLIOGRAFIA	70
ANEXOS	71

LISTA DE CUADROS

		Pág.
CUADRO N° 1	Ordenes de trabajo programado y no programado	20
CUADRO N° 2	Sistema que más falla en los cargadores KOMATSU WA1200	22
CUADRO N° 3	Tabla de índices de criticidad	23
CUADRO N° 4	Tabla de índices de costos medios de intervención y frecuencia de intervenciones al mes	24
CUADRO N° 5	Tabla de principales funciones de las partes del sistema hidráulico	25
CUADRO N° 6	Principales calificación de gravedad a los subsistemas del sistema hidráulico	28
CUADRO N° 7	Análisis de Pareto por gravedad de los subsistemas del sistema hidráulico	31
CUADRO N° 8	Entrada función salida de Cargador WA1200-3	35
CUADRO N° 9	Entrada función salida del sistema hidráulico del cargador WA1200-3	36
CUADRO N° 10	Consecuencias de las fallas	42
CUADRO N° 11	Tareas recomendadas	43
CUADRO N° 12	Subsistemas críticos	46
CUADRO N° 13	Paradas más extensas durante el año	47
CUADRO N° 14	Responsables y cronograma de acción	48
CUADRO N° 15	Costos de mantenimiento 2009 (hasta el 31 de agosto 2009)	50
CUADRO N° 16	Costos aproximados de parada 2009 (hasta el 31 de agosto 2009)	51
CUADRO N° 17	Costos reajustados de parada 2009 (hasta el 31 de agosto 2009)	52
CUADRO N° 18	Calculo de Pareto – costos de Parada 2009	53
CUADRO N° 19	Análisis frecuencia de solicitud de repuestos subsistemas críticos	55
CUADRO N° 20	Costo de repuestos subsistemas críticos	57
CUADRO N° 21	Tiempos medios de reparación para los subsistemas	58
CUADRO N° 22	Costos de intervención a los subsistemas	60
CUADRO N° 23	Costos de intervención a los subsistemas 2	62
CUADRO N° 24	Costos de falla	62
CUADRO N° 25	Costos totales	64
CUADRO N° 26	Evolución de la confiabilidad para el ultimo periodo	67

LISTA DE GRÁFICOS

		Pág.
GRAFICO N° 1	Diagrama de los sistemas principales del cargador	15
GRAFICO N° 2	Diagrama del sistema de mando de bombas	17
GRAFICO N° 3	Diagrama funcional del sistema de alta presión	17
GRAFICO N° 4	Filtro por programación del trabajo	21
GRAFICO N° 5	Suma de duración de los trabajos (días)	23
GRAFICO N° 6	Componentes críticos: Grafica de Pareto	33
GRAFICO N° 7	Diagrama de Espina de Pescado de las Fallas Criticas del Cargador Wa1200-3	41
GRAFICO N° 8	Diagrama de Pareto: Costos de parada	54
GRAFICO N° 9	Fallas en los subsistemas	56
GRAFICO N° 10	Costo de intervención del los subsistemas	61
GRAFICO N° 11	Costos de falla	63
GRAFICO N° 12	Costo totales	65
GRAFICO N° 13	Grafica de Disponibilidad Año 2009	66

LISTA DE DIBUJOS

		Pág.
DIBUJO N° 1	Cargador Frontal KOMATSU WA 1200	13
DIBUJO N° 2	Partes del Equipo de Trabajo	16
DIBUJO N° 3	Sistemas Principales	37
DIBUJO N° 4	Sistemas Principales Resumido	37
DIBUJO N° 5	Sistemas de Movimiento de Implementos: Alta Presión	38
DIBUJO N° 6	Sistema de Movimiento De Implementos: Alta Presión 2	38
DIBUJO N° 7	Sistema de Dirección	39
DIBUJO N° 8	Sistema de Dirección de Emergencia	39
DIBUJO N° 9	MTTR en los Subsistemas (Grafico Radial)	59

PROLOGO

El mantenimiento en todas las industrias ha evolucionado considerablemente en los últimos 20 años. En la actualidad no sólo espera la falla del equipo o se repara con una frecuencia establecida, sino que también se incluye los programas de mantenimiento en monitoreo por condición (mantenimiento predictivo), se está dando mucha importancia a la seguridad y al medio ambiente, buscando una mayor disponibilidad y confiabilidad en las plantas, mayor vida útil de los equipos, entre otros. Para esto, se están desarrollando nuevas técnicas de mantenimiento como son: inspección basado en riesgo, mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), análisis causa-raíz, TPM, herramienta para toma de decisiones de costo-riesgo entre otros. En este informe nos referiremos a la implementación del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) en una empresa minera, de manera que sirva de guía a las personas que deseen implementar el RCM en sus empresas

El trabajo desarrollado se resume a continuación en los siguientes capítulos:

En el capítulo I: Contiene la introducción, antecedentes, objetivos, alcance, limitaciones y justificación del proyecto

En el capítulo II: Contiene la evolución del mantenimiento en el tiempo, para luego tocar mayor detalle el Mantenimiento centrado en confiabilidad y descripción genérica de los cargadores frontales Komatsu WA1200.

En el Capítulo III: Contiene el detalle de la implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad, su planificación, qué indicadores de gestión se consideran para su seguimiento, cómo se elige el orden de la implementación y el proceso del RCM Análisis funcionales, diagrama entrada función salida, desarrollo de los FMECA's (análisis de modos y efectos de falla y criticidad), agrupación de tareas

En el Capítulo IV: Se detallaran los costos de implementación de RCM del sistema hidráulico en los cargadores Komatsu WA1200

En el Capítulo V. Se detallará los beneficios de implementar el RCM del sistema hidráulico en los cargadores Komatsu WA1200

CAPITULO I

1 INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años el mantenimiento ha evolucionado, quizás más que cualquier otra disciplina gerencial. Estos cambios se deben principalmente al aumento en número y variedad de los activos físicos (plantas, equipos, maquinaria, etc.) que deben ser mantenidos en todo el mundo, diseños más complejos, nuevos métodos de mantenimiento y una óptica cambiante en la organización del mantenimiento y sus responsabilidades.

El mantenimiento también está respondiendo a expectativas cambiantes. Estas incluyen una creciente toma de conciencia para evaluar hasta qué punto las fallas en los equipos afectan a la seguridad y al medio ambiente; conciencia de la relación entre el mantenimiento, la calidad del producto y la responsabilidad de alcanzar una alta disponibilidad y confiabilidad en la planta y mantener el costo dentro de lo plan anual.

Estos cambios están exigiendo nuevas actitudes y habilidades en todas las ramas de la industria. El personal de mantenimiento se ve obligado a adoptar maneras de pensar completamente nuevas, y a actuar como especialistas en el área mecánica, inspección basada en riesgo, mantenimiento basado en la confiabilidad RCM, análisis causa raíz, TPM, herramientas para toma de decisiones de costo riesgo entre otros.

Al mismo tiempo las limitaciones de los sistemas de mantenimiento se hacen cada vez mas evidentes, sin importar cuanto se hayan informatizado.

El estudio se enfocará Mediante la metodología del RCM (mantenimiento centrado en la confiabilidad) en listar las funciones de los sistemas del WA1200-3, se identificará los modos y las causas de fallas y se seleccionará sólo las tareas o prácticas de operaciones y mantenimiento para preservar estas funciones requeridas. De manera complementaria el estudio se encargará de cuantificar los beneficios que conlleve la implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM

1.1 ANTECEDENTES

Debido a la baja disponibilidad y confiabilidad principalmente de la flota de cargadores komatsu WA1200 (sistema de de carguío para la mina Pierina), con respecto a los indicadores claves de funcionamiento–KPI’S la Jefatura de Ingeniería de mantenimiento decide implementar la Metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad RCM en el tercer trimestre del año 2009, sobre la base de la experiencia que anteriormente se había aplicado esta metodología de mantenimiento a los cargadores CAT modelo 994 y que están dando buenos resultados tanto en disponibilidad y confiabilidad. Es ahí donde se empieza a reunir toda la información necesaria para poder llevar a cabo esta implementación para este modelo de cargadores

1.2 OBJETIVO

El objetivo de este informe es elaborar e implementar el Mantenimiento Centrado en la confiabilidad (RCM) del sistema hidráulico en los cargadores frontales Komatsu, Modelo WA 1200, con la finalidad de mejorar la disponibilidad y confiabilidad de equipo con respecto al año anterior (75%), aumentando ésta entre 1 y 10 puntos porcentuales (85-85)% agregando alternativas de solución económicamente viables con respecto a los indicadores claves de funcionamiento – KPI'S, y reducir los costos de reparación de los repuestos mas críticos

1.2.1 Objetivos específicos

- Hacer un análisis de las fallas del equipo.- Con el fin de determinar cuáles son aquellas fallas que más se repiten en los equipos, cuáles son las fallas que ocasionan paradas mas largas en los equipos y cuáles son las fallas mas costosas para la empresa.
- Hacer un análisis de las causas de las fallas del equipo.- Este punto estará orientado a identificar los factores desencadenantes de las fallas, con esto se tendrá un amplio panorama para la elaboración de las medidas correctivas reconocer componentes críticos (mayores y menores), generar un stock mínimo de estos componentes, generar test de diagnósticos predictivos, estar al día con las mejores propuestas desde fábrica con respecto a esta flota.
- Determinar medidas correctivas para evitar las fallas.- Estas medidas deben tener un impacto inmediato en la confiabilidad y disponibilidad del equipo, además, las mismas deben ser económicas y técnicamente posibles.

- Priorizar los trabajos según los costos que origine a la empresa.- De las medidas correctivas señaladas se establecerá un cronograma de acción bajo el criterio de resultados notorios.
- Cuantificar el impacto de las acciones correctivas.- Finalmente debe indicarse cual es el incremento en la disponibilidad del equipo producido por las medidas implantadas

1.3 ALCANCE

El alcance de este proyecto abarcará el análisis de criticidad en todo el sistema hidráulico del cargador para minimizar sus fallas

1.4 LIMITACIONES

Las limitaciones para la implementación del RCM para cargadores frontales Komatsu modelo WA1200 es la falta de información organizada, el desconocimiento del personal en este nuevo método de mantenimiento que se desea aplicar, ya que el personal tienen el paradigma que el mantenimiento termina el mantenimiento correctivo y predictivo, también la falta de compromiso en los involucrados en el desarrollo de esta implementación

1.5 JUSTIFICACIÓN

Se sustenta en mejorar y mantener en lo sucesivo la disponibilidad y confiabilidad de los cargadores frontales Komatsu modelo WA1200 con respecto a los indicadores claves de funcionamiento KPI'S; y como consecuencia mejorar el plan de buenas prácticas de mantenimiento y operaciones de estos equipos, porque se disminuirá las fallas imprevistas.

Disminuir el impacto ambiental negativo por el tema de los derrames de hidrocarburos que ocurren cuando hay alguna avería en el sistema hidráulico (líneas hidráulicas, cañerías, etc.), disminuir el costo horario por equipo parado, mejorar la relación costo - efectivo de las tareas de mantenimiento, que sean aplicables a las características de una falla, así como a los patrones de fallas definidos.

CAPITULO II

2 MARCO TEÓRICO (GENERALIDADES SOBRE MANTENIMIENTO)

2.1 EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO

Desde el principio de los tiempos, el Hombre siempre ha sentido la necesidad de mantener su equipo, aún las más rudimentarias herramientas o aparatos. La mayoría de las fallas que se experimentaban eran el resultado del abuso y esto sigue sucediendo en la actualidad. Al principio sólo se hacía mantenimiento cuando ya era imposible seguir usando el equipo. A eso se le llamaba "*Mantenimiento de Ruptura o Reactivo*"

Fué hasta 1950 que un grupo de ingenieros japoneses iniciaron un nuevo concepto en mantenimiento que simplemente seguía las recomendaciones de los fabricantes de equipos acerca de los cuidados que se debían tener en la operación y mantenimiento de máquinas y sus dispositivos.

Esta nueva tendencia se llamó "*Mantenimiento Preventivo*". Como resultado, los gerentes de planta se interesaron en hacer que sus supervisores, mecánicos, electricistas y otros técnicos, desarrollaran programas para lubricar y hacer observaciones clave para prevenir daños al equipo.

Aún cuando ayudó a reducir pérdidas de tiempo, el Mantenimiento Preventivo era una alternativa costosa. La razón: Muchas partes se reemplazaban basándose en el tiempo de operación, mientras podían haber durado más tiempo. También se aplicaban demasiadas horas de labor innecesariamente.

Los tiempos y necesidades cambiaron, en 1960 nuevos conceptos se establecieron, "*Mantenimiento Productivo*" fue la nueva tendencia que determinaba una perspectiva más profesional. Se asignaron más altas responsabilidades a la gente relacionada con el mantenimiento y se hacían consideraciones acerca de la confiabilidad y el diseño del equipo y de la planta. Fue un cambio profundo y se generó el término de "Ingeniería de la Planta" en vez de "Mantenimiento", las tareas a realizar incluían un más alto nivel de conocimiento de la confiabilidad de cada elemento de las máquinas y las instalaciones en general.

Diez años después, tomó lugar la globalización del mercado creando nuevas y más fuertes necesidades de excelencia en todas las actividades. Los estándares de "Clase Mundial" en términos de mantenimiento del equipo se comprendieron y un sistema más dinámico tomó lugar. TPM es un concepto de mejoramiento continuo que ha probado ser efectivo. Primero en Japón y luego de vuelta a América (donde el concepto fue inicialmente concebido, según algunos historiadores). Se trata de participación e involucramiento de todos y cada uno de los miembros de la organización hacia la optimización de cada máquina.

Esta era una filosofía completamente nueva con un planteamiento diferente y que se mantendrá constantemente al día por su propia esencia. Implica un mejoramiento continuo en todos los aspectos y se le denominó TPM.

Tal como lo vimos en la definición, TPM son las siglas en inglés de *"Mantenimiento Productivo Total"*, también se puede considerar como *"Mantenimiento de Participación Total"* o *"Mantenimiento Total de la Productividad"*.

El propósito es transformar la actitud de todos los miembros de la comunidad industrial. Toda clase y nivel de trabajadores, operadores, supervisores, ingenieros, administradores, quedan incluidos en esta gran responsabilidad. La "Implementación de TPM" es un objetivo que todos compartimos.

También genera beneficios para todos nosotros. Mediante este esfuerzo, todos nos hacemos responsables de la conservación del equipo, el cual se vuelve más productivo, seguro y fácil de operar, aún su aspecto es mucho mejor. La participación de gente que no está familiarizada con el equipo enriquece los resultados pues en muchos casos ellos ven detalles que pasan desapercibidos para quienes vivimos con el equipo todos los días.

2.2.1 Concepto de mantenimiento

Mantenimiento es una actividad que se dedica a la conservación del equipo de producción, para asegurar que éste se encuentre constantemente y por el mayor tiempo posible, en óptimas condiciones de confiabilidad y que sea seguro de operar.

La función del mantenimiento ha sido históricamente considerada como un costo necesario en los negocios. Sin embargo, al paso del tiempo, nuevas tecnologías y prácticas innovadoras están colocando a la función del mantenimiento como una parte integral de la productividad total en muchos negocios. Las sólidas

técnicas modernas de mantenimiento y su sentido práctico tienen el potencial para incrementar en forma significativa las ventajas en el mercado global.

2.2 MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD

2.2.1 Historia de RCM

A mediados del siglo pasado, la aviación comercial mundial estaba sufriendo más de 60 accidentes por millón de despegues. Las dos terceras partes de los accidentes ocurridos eran causados por fallos en los equipos. Esta alta tasa de accidentalidad, y el auge de la industria del transporte aéreo, exigía acciones para mejorar la seguridad.

Frente a esta sucesión de grandes cambios, los gerentes en todo el mundo están buscando un nuevo enfoque para el mantenimiento

Buscan en cambio una estructura estratégica que sintetice los nuevos desarrollos en un modelo coherente, para luego evaluarlo y aplicar el que mejor satisfaga sus necesidades y las de la compañía, es por esa razón que introducen el concepto denominado mantenimiento centrado en confiabilidad, o **RCM (Reliability Centered Maintenance)**, que aplicado correctamente, transforma las relaciones entre quienes lo usan, los activos físicos existentes y las personas que los operan. A su vez permite que nuevos bienes o activos sean puestos en servicio con gran efectividad, rapidez y precisión.

2.2.2 Concepto y Descripción del RCM

RCM llamado Mantenimiento Centrado en la confiabilidad, implica que el mantenimiento no puede hacer más que asegurar que los elementos físicos continúan consiguiendo su capacidad incorporada o fiabilidad inherente.

No se puede lograr mayor fiabilidad que la diseñada al interior de los activos y sistemas que la brindada por sus diseñadores. Cada componente tiene su propia y única combinación de modos de fallo, con sus propias intensidades de fallo.

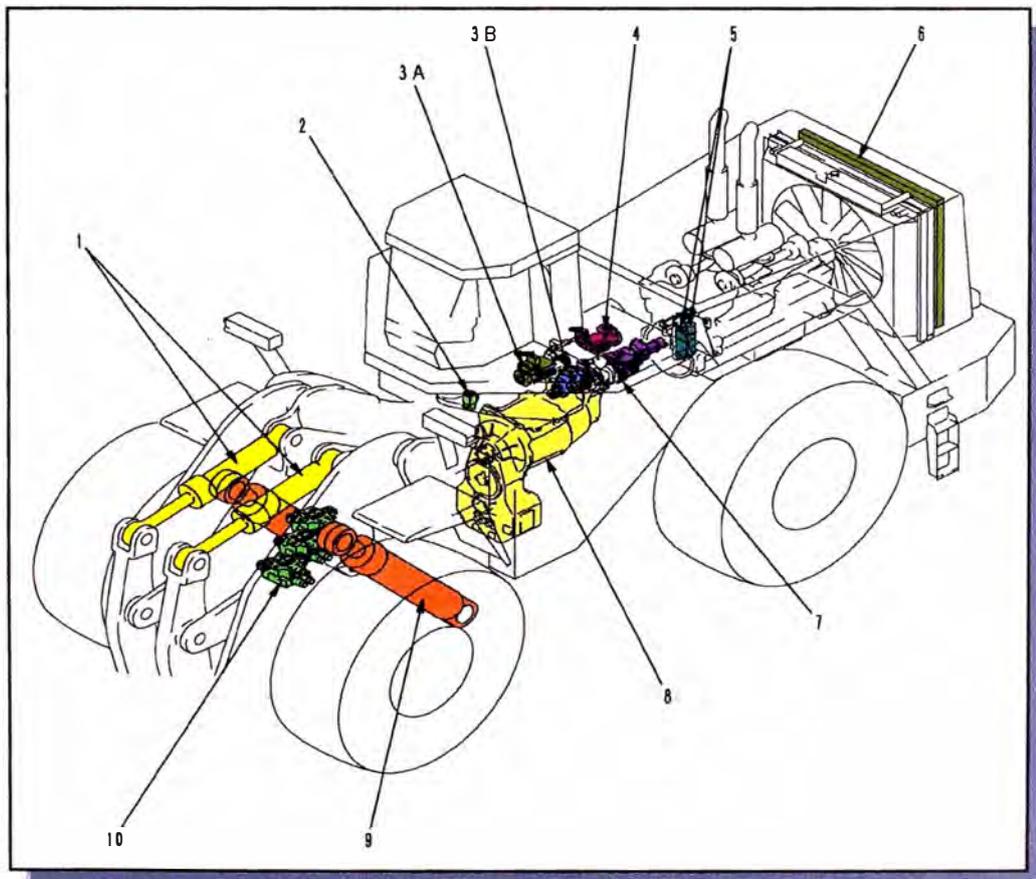
Cada combinación de componentes es única y los fallos en un componente pueden conducir a fallos en otros componentes, de igual o mayor magnitud. Cada sistema opera en un ambiente único consistente de ubicación, altitud, profundidad, atmósfera, presión, temperatura, humedad, salinidad, exposición a procesar fluidos o productos, velocidad, aceleración, entre otros la función determinada de cualquier equipo puede definirse de muchas formas dependiendo exactamente de dónde y cómo se esté usando.

Como resultado de esto, cualquier intento de formular o revisar las políticas de mantenimiento deberían comenzar con las funciones y los estándares de funcionamiento asociados a cada elemento en su contexto operacional presente. Por tanto el RCM es un proceso que se usa para determinar los requerimientos del mantenimiento de los elementos físicos en su contexto operacional o lo que es lo mismo, un proceso que se emplea para determinar lo que debe hacerse para asegurar que un elemento físico sigue desempeñando las funciones deseadas en su contexto operacional

2.3 DESCRIPCIÓN DE CARGADORES FRONTALES KOMATSU MODELO WA200

Son equipos que sirven como carguio de mineral cuyo propósito es dar movimiento al brazo y cucharón a través de los pistones de levante y de volteo, cuyo ciclo de carguío es de 2.2 a 2.4 min. Estos cargadores tienen la capacidad de cargar entre 40 a 50 Tn de material por cucharada (según fabrica 20 M³) a una velocidad de levante de 12 a 13 segundos.

2.3.1 Partes del Sistema Hidráulico de un Cargador Frontal KOMATSU WA 1200



DIBUJO N° 1

Cargador Frontal KOMATSU WA 1200

PARTES.

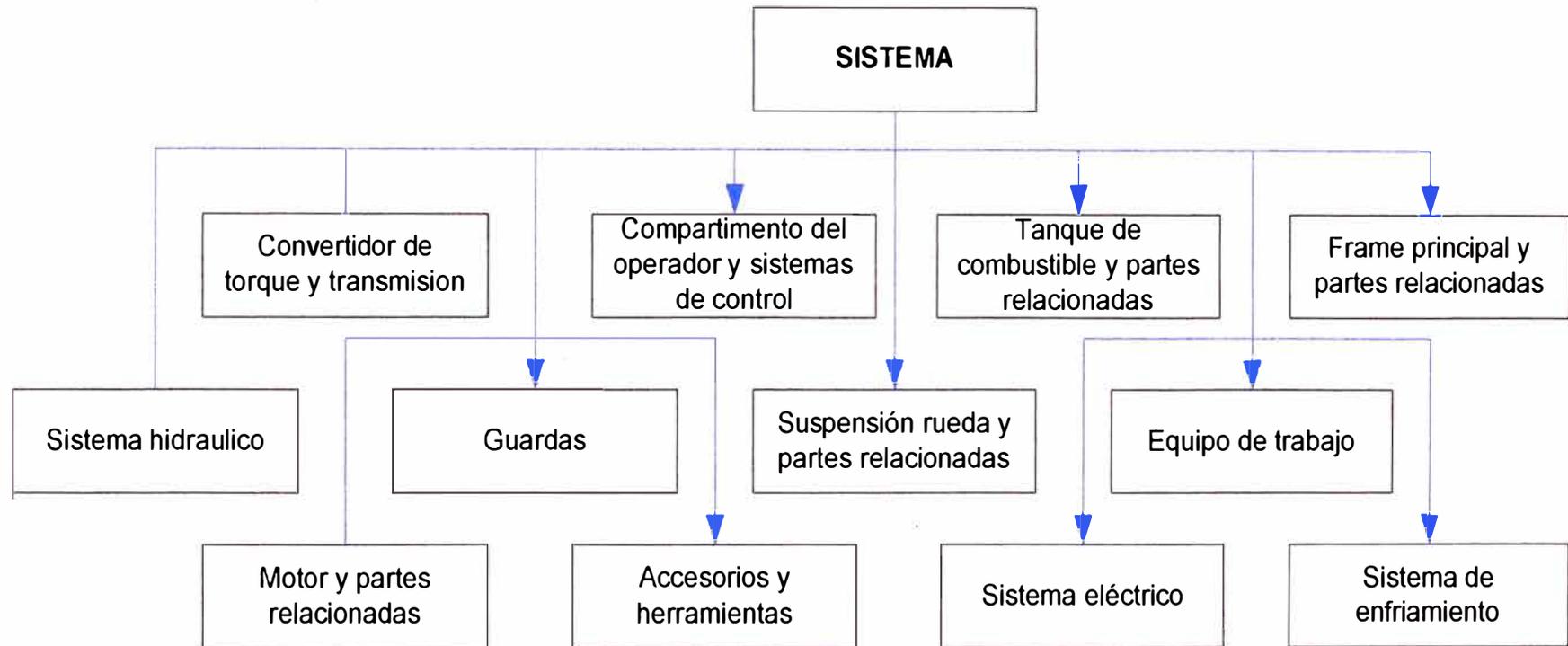
1. Cilindro del cucharón
2. Válvula PPC
- 3A. Bomba principal No. 1
- 3B. Bomba principal No. 2
4. Bomba conmutable
5. Acumulador
6. Enfriador de aceite hidráulico
7. Bomba de engranajes (Convertidor de torsión + transmisión + enfriamiento del freno + freno).
8. Transmisión
9. Cilindro del aguilón
10. Válvula de control principal (x 3)

2.3.2 Indicadores de los cargadores KOMATSU WA1200

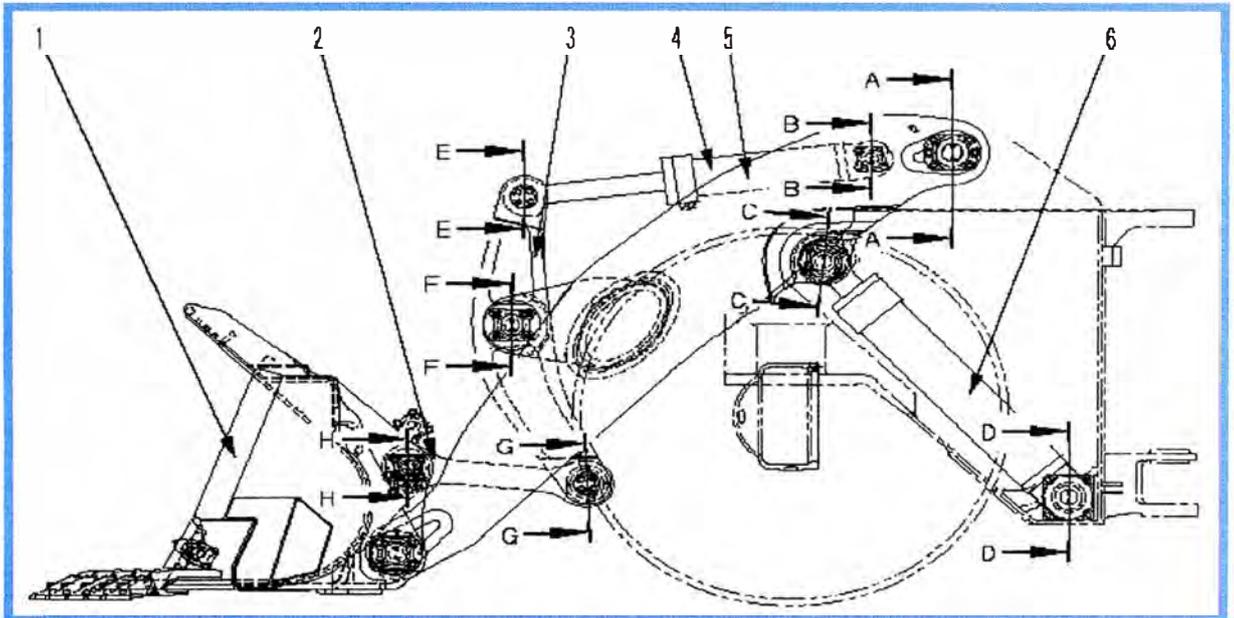
Los indicadores de los cargadores se miden en base a la disponibilidad y confiabilidad que ofrece el área de Mantenimiento según se muestra en el grafico N° 13 y en el cuadro N°27

GRAFICO N° 1

DIAGRAMA DE LOS SISTEMAS PRINCIPALES DEL CARGADOR



2.3.3 Equipo de Trabajo



DIBUJO N° 2

PARTES DEL EQUIPO DE TRABAJO

1. Cucharón
2. Articulación del cucharón
3. Palanca acodada
4. Cilindro del cucharón
5. Aguilón
6. Cilindro del aguilón

GRAFICO N° 2

DIAGRAMA DEL SISTEMA DE MANDO DE BOMBAS

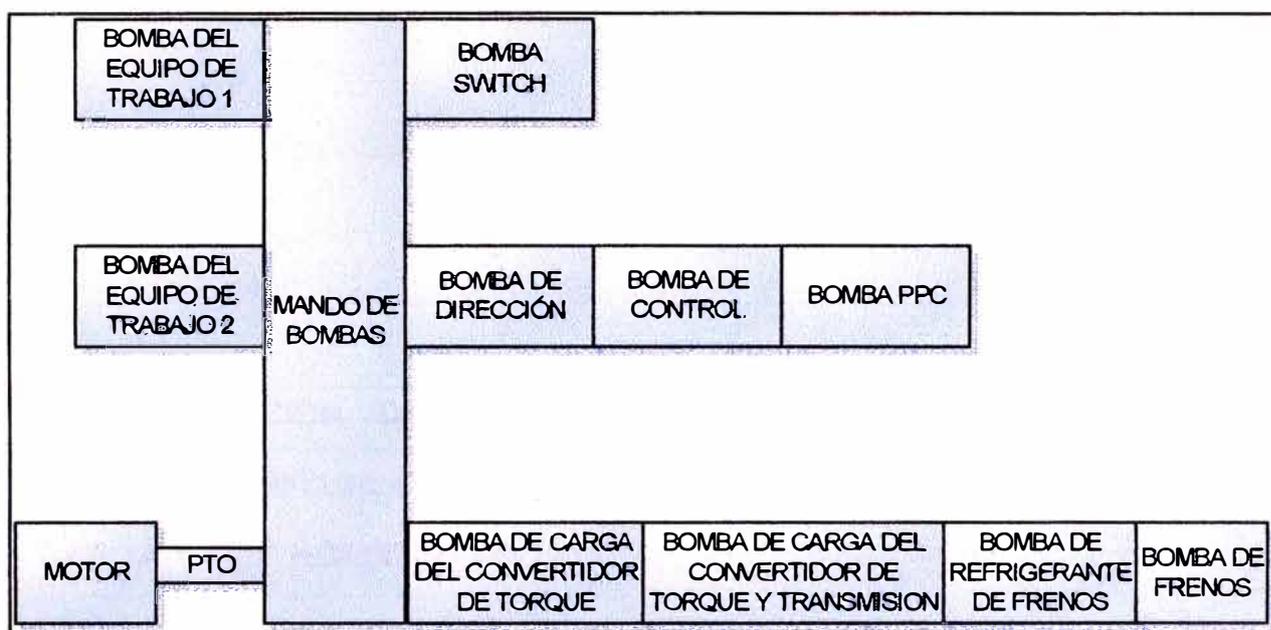
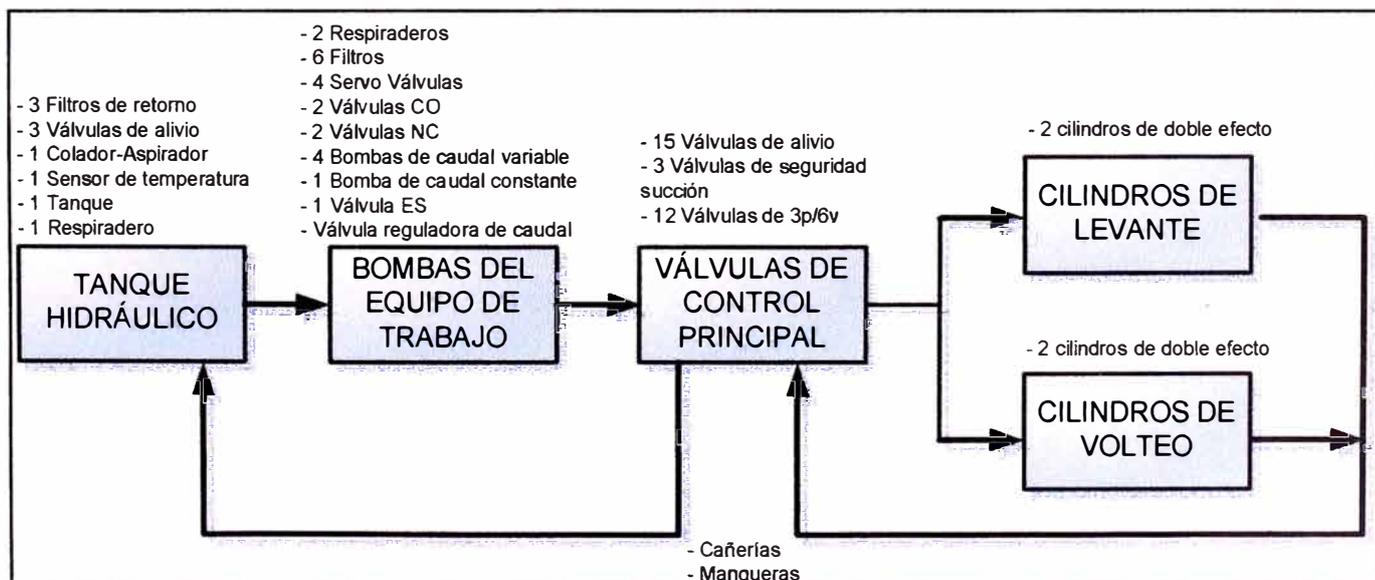


GRAFICO N° 3

DIAGRAMA FUNCIONAL DEL SISTEMA DE ALTA PRESION

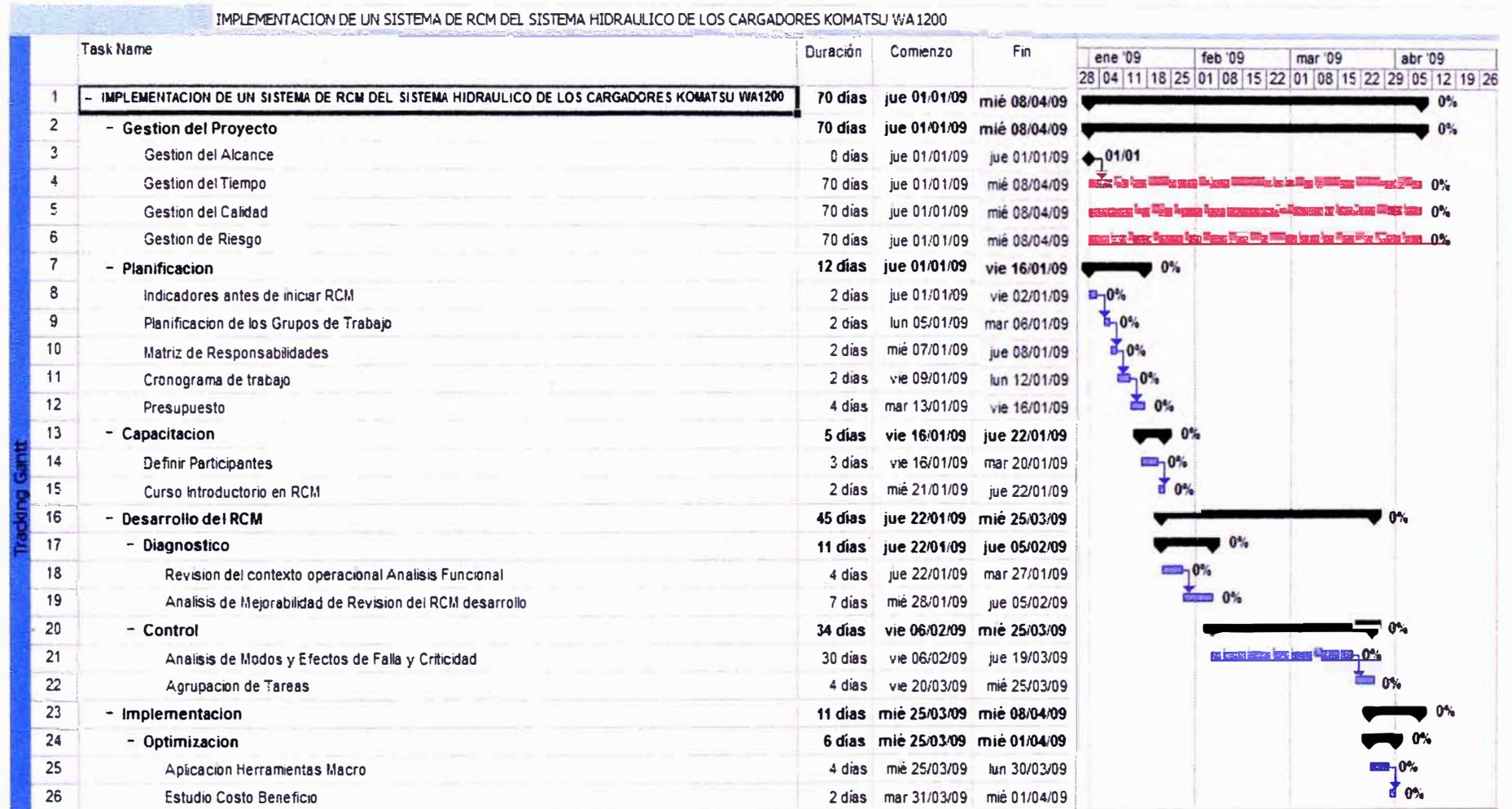


CAPITULO III

3 IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD DEL SISTEMA HIDRAULICO DE LOS CARGADORES KOMATSU WA1200

3.1 PLANIFICACIÓN

3.1.1 Cronograma de Actividades



3.1.2 Indicadores antes de iniciar el RCM

Antes de desarrollar el RCM para los cargadores Komatsu WA1200 se hizo el cuadro estadístico para analizar el sistema crítico, en primer término analizar que tipo de órdenes de trabajo se generaron entre los años 2008 y 2009.

Se debe considerar que los indicadores son determinados en base a cuadros estadísticos como se detalla en los cuadros siguientes

$$\text{N}^\circ \text{ OT Programado} = \sum (\text{OT programado en un periodo dado})$$

$$\text{N}^\circ \text{ OT No Programado} = \sum (\text{OT no programado en un periodo dado})$$

OT= Orden de trabajo

CUADRO N° 1

ORDENES DE TRABAJO PROGRAMADO Y NO PROGRAMADO

RESUMEN DE TRABAJOS PROGRAMADOS Y NO PROGRAMADOS	Tipo de Orden de trabajo:		Total general
	NO	SI	
LISTADO DE TRABAJOS			
MANGUERAS	16	34	50
FILTRO	13	3	16
BOMBA	8	9	17
VALVULAS	5	9	14
CILINDRO	2	5	7
FUGA HIDRAULICA	1		1
MOTOR HIDRAULICO	1	1	2
TUBERIAS	1	7	8
SUGETADORES		1	1
NIPLES		2	2
ORING		2	2
SENSOR DE PRESION		1	1
STRAINER DE LA TRANSMISION		1	1
SWITCH DE PRESION DE DIRECCION		1	1
ACEITE		2	2
ACTUADOR		2	2
EVALUACION		3	3
FRENOS		2	2
INSTALACION Y CLIPS DE SUJECION DEL SIST HIDRAULICO		1	1
Total general	47	86	133

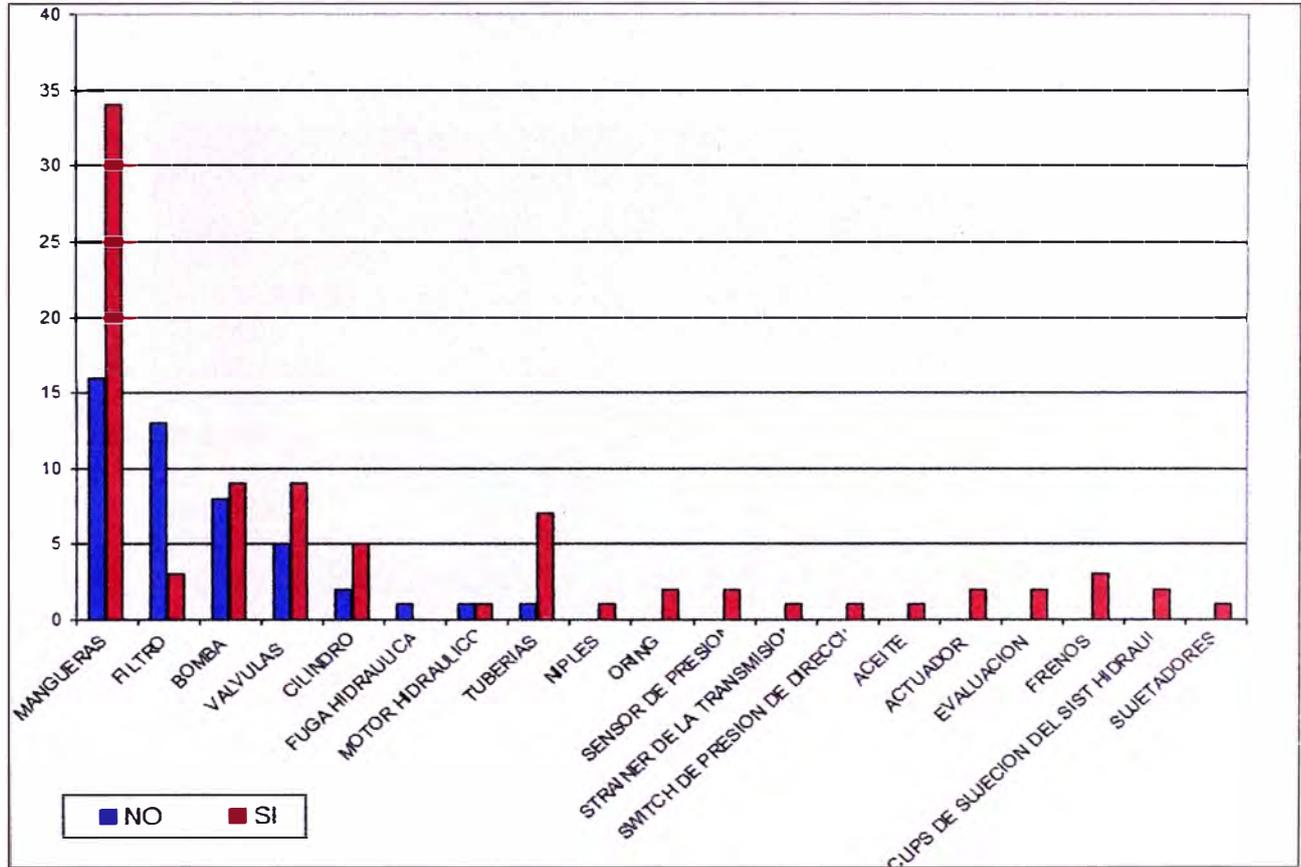


GRAFICO N° 4

FILTRO POR PROGRAMACION DEL TRABAJO

CUADRO N° 2
SISTEMA QUE MÁS FALLA EN LOS CARGADORES
KOMATSU WA1200

FILTRO POR DURACION DEL TRABAJO	
Suma de Duración de los trabajos (días)	
Listado de trabajos	Total
MANGUERAS	97
VALVULAS	71
BOMBA	26
TUBERIAS	24
NIPLES	17
FILTRO	16
CILINDRO	8
ACEITE	7
EVALUACION	6
MOTOR HIDRAULICO	2
FRENOS	2
ACTUADOR	2
ORING	2
CLIPS DE SUJECION DEL SIST HIDRAULICO	1
FUGA HIDRAULICA	1
SWITCH DE PRESION DE DIRECCION	1
STRAINER DE LA TRANSMISION	1
SENSOR DE PRESION	1
SUJETADORES	1
Total general	286

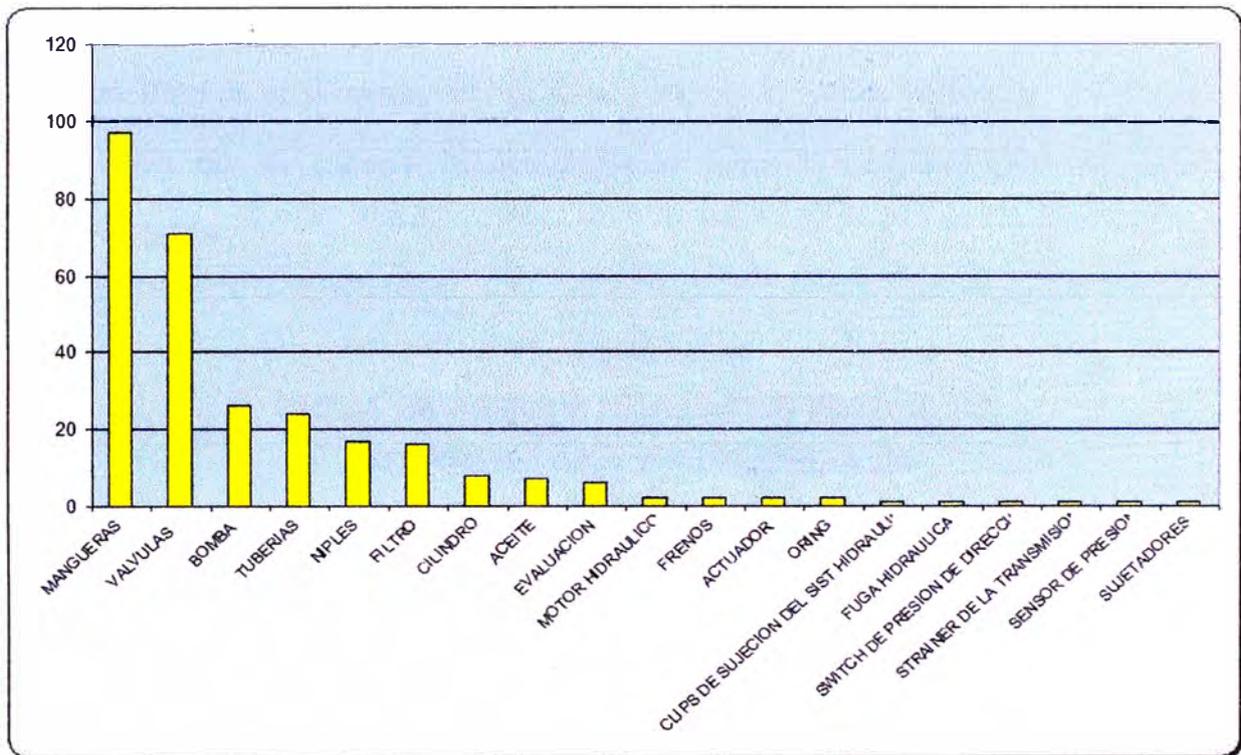


GRAFICO N° 5
SUMA DE DURACIÓN DE LOS TRABAJOS (DIAS)

3.1.3 Identificación de los sistemas críticos

La seguridad del trabajador está primero ante cualquier labor que se realice, por eso el índice de criticidad se obtiene de acuerdo a la tabla de ponderación y criticidad definidos según criterios mostrados en el cuadro N° 3. Debe considerarse que el nivel de rangos va desde insignificante a crítico.

CUADRO N° 3
TABLA DE ÍNDICES DE CRITICIDAD

Ponderación	Criterio
1	Insignificante, el efecto sobre la confiabilidad y/o disponibilidad es minima
2	Menor, no afecta la seguridad, pero si la confiabilidad y/o la disponibilidad
3	Mayor, no afecta la seguridad, pero si la confiabilidad y/o disponibilidad de manera importante
4	Crítica, la seguridad es afectada

Con la información disponible sobre los datos en el taller de mantenimiento mina en Pierina el proyecto se va a enfocar en el costo promedio a la empresa ocasionado por la parada de los equipos y su frecuencia mensual según la siguiente tabla.

CUADRO N° 4
TABLA DE ÍNDICES DE COSTOS MEDIOS DE
INTERVENCIÓN Y FRECUENCIA DE
INTERVENCIONES AL MES

Índice costo	Costo medio por intervención (\$)	Índice frecuencia	Frecuencia (N° intervenciones al mes)
1	≤3249	1	≤0.25
2	>3250 y ≤6499	2	>0.26 y ≤0.5
3	>6500 y ≤9749	3	>0.51 y ≤0.75
4	>9750 y ≤12999	4	>0.76 y ≤1.00
5	>13000 y ≤16249	5	>1.01 y ≤1.25
6	>16250	6	>1.26

La gravedad del modo de falla será la ponderación de los tres índices.

CUADRO N° 5
TABLA DE PRINCIPALES FUNCIONES DE LAS PARTES DEL SISTEMA
HIDRÁULICO

Objetivo	Subsistema	Función
Dirección hidráulica	Líneas del cilindro de dirección	Transportar el fluido hidráulico a alta presión para el movimiento del cilindro de dirección
	Línea de la válvula de dirección	Transportar el fluido hidráulico desde la bomba de dirección a la válvula de dirección
	Línea de retorno de la válvula de demanda de dirección	Transportar el fluido hidráulico de retorno al tanque hidráulico proveniente de la válvula de demanda de la dirección
	Válvula de dirección	Controlar y direccionar caudal los cilindros de dirección
	Válvula EPC	Cambiar la dirección del fluido hidráulico enviado desde la bomba PPC a la válvula rotativa
	Bomba de dirección	Entregar caudal a los cilindros de dirección
Dirección de emergencia	Tuberías de la bomba de dirección de emergencia	Transportar el fluido hidráulico desde la bomba de dirección de emergencia
	Tubería de aspiración	Transportar el fluido hidráulico desde el tanque hidráulico
	Tubería de drenaje	Transportar el fluido hidráulico de retorno al tanque hidráulico
	Tuberías de válvula de dirección de emergencia	Transportar el fluido hidráulico a la válvula de demanda de la dirección
	Línea de válvula de dirección de emergencia	Regular el caudal de la bomba de dirección de emergencia a las válvulas de demanda de la dirección
	Bomba de dirección de emergencia	Entregar caudal a los cilindros de dirección cuando la válvula de dirección de emergencia lo indique
	Válvula de dirección de emergencia	Cambiar el flujo hidráulico de la bomba de emergencia hacia la válvula de demanda de la

		dirección
Movimiento de implementos	Bomba hidráulica Nro.1	Entregar caudal a los cilindros de levante y de volteo
	Bomba hidráulica Nro.2	Entregar caudal a los cilindros de levante y de volteo
	Bomba de control	Entregar caudal a la bomba de carga para regular la cantidad de descarga
	Línea hidráulica: línea de succión hidráulica de la bomba del cargador	Transportar el fluido hidráulico entre el tanque hidráulico y las bombas de carga principales
	Línea hidráulica: línea de drenado de bomba	Transportar el fluido hidráulico de retorno desde las bombas de carga principales al tanque hidráulico
	Línea de retorno de la válvula de control	Transportar el fluido hidráulico de retorno al tanque hidráulico proveniente de las válvulas de control principal
	Línea hidráulica (filtro en línea a válvula de control)	Purificar el fluido hidráulico proveniente de las bombas 1 y 2 hacia las válvulas de control principal
	Línea hidráulica: bomba de carga a filtro en línea	Purificar el fluido hidráulico proveniente de las bombas 1 y 2 a las válvulas de control principal
	Válvula de control	Controlar el flujo del aceite hidráulico a los implementos de acuerdo de acuerdo a los requerimientos de la válvula PPC
	Línea alta y baja del cilindro de volteo	Según el movimiento del cilindro se encarga de transportar el fluido hidráulico entre el cilindro de volteo y las válvulas de control principal
	Línea alta y baja del cilindro de levante	Según el movimiento del cilindro se encarga de transportar el fluido hidráulico entre el cilindro de levante y las válvulas de control principal
	Línea de succión hidráulica de la bomba switch dirección	Transportar el fluido hidráulico entre el tanque hidráulico y la bomba switch
	Bomba switch	Priorizar el caudal al sistema de dirección sobre los implementos
	Línea hidráulica (bomba switch a tubo frontal)	Transmitir el fluido hidráulico de la bomba switch a las válvulas de demanda de dirección
	Válvula PPC línea frontal	Transportar el fluido hidráulico desde la válvula PPC a las válvulas de control principal

	Succión PPC y línea de drenaje	Transportar el fluido hidráulico de regreso al tanque hidráulico
	Válvula PPC línea trasera	Transportar el fluido hidráulico de desde la bomba PPC a la válvula PPC
	Línea de dirección hidráulica: línea de control de la válvula piloto	Transmitir fluido hidráulico para bloquear la dirección y los implementos cuando el vehiculo no se este operando
	Bomba PPC	Entregar caudal a la válvula PPC
	Línea hidráulica: filtro PPC a acumulador	Purificar el fluido hidráulico que pasa entre la bomba PPC y el acumulador
	Línea hidráulica: acumulador y partes relacionadas de la válvula solenoide	Proporcionar presión para descender el boom y el cucharón con el motor apagado
	Línea hidráulica: válvula selectora	Se encarga de mantener la posición de los implementos indicados por la válvula PPC
	Línea hidráulica: línea de llenado rápido de aceite	Permitir el llenado rápido de aceite al sistema
	Línea hidráulica: filtro en línea y paso	Purificar el aceite a alta presión que pasa de las bombas a los cilindros
	Línea hidráulica: línea de enfriamiento	Enfriar el aceite hidráulico proveniente del ventilador a la válvula de dirección
Otras líneas	Línea hidráulica: línea sensor del medidor de carga	Transportar el fluido hidráulico entre la parte superior e inferior del sensor del equipo de trabajo
	Línea hidráulica: línea del ventilador del enfriador de combustible	Transportar el fluido hidráulico entre la bomba de carga 2 y el ventilador

CUADRO N° 6

**PRINCIPALES CALIFICACIÓN DE GRAVEDAD A LOS
SUBSISTEMAS DEL SISTEMA HIDRÁULICO**

Objetivo	Subsistema	Índice de frecuencia (f)	Índice Costo (c)	Criticidad (t)	Gravedad (f)x(c)x(t)
Dirección hidráulica	Líneas del cilindro de dirección	4	1	4	16
	Línea de la válvula de dirección	4	1	3	12
	Línea de retorno de la válvula de demanda de dirección	2	1	2	4
	Válvula de dirección	1	6	4	24
	Válvula EPC	1	6	3	18
	Bomba de dirección	1	5	2	10
Dirección de emergencia	Tuberías de la bomba de dirección de emergencia	2	1	4	8
	Tubería de aspiración	1	1	4	4
	Tubería de drenaje	3	1	4	12
	Tuberías de válvula de dirección de emergencia	4	1	4	16
	Línea de válvula de dirección de emergencia	1	1	4	4
	Bomba de dirección de emergencia	2	1	4	8
	Válvula de dirección de emergencia	4	6	4	96
Movimiento de implementos	Bomba hidráulica Nro.1	1	6	3	18

Bomba hidráulica Nro.2	1	6	3	18
Bomba de control	1	4	3	12
Línea hidráulica: línea de succión hidráulica de la bomba del cargador	1	1	2	2
Línea hidráulica: línea de drenado de bomba	1	1	2	2
Línea de retorno de la válvula de control	6	1	2	12
Línea hidráulica (filtro en línea a válvula de control)	3	2	2	12
Línea hidráulica: bomba de carga a filtro en línea	2	1	2	4
Válvula de control	1	6	3	18
Línea alta y baja del cilindro de volteo	1	2	4	8
Línea alta y baja del cilindro de levante	2	2	4	16
Línea de succión hidráulica de la bomba switch dirección	1	1	2	2
Bomba switch	1	1	3	3
Línea hidráulica (bomba switch a tubo frontal)	2	2	3	12
Válvula PPC línea frontal	2	1	3	6
Succión PPC y línea de drenaje	3	2	2	12

	Válvula PPC línea trasera	2	2	3	12
	Línea de dirección hidráulica: línea de control de la válvula piloto	5	2	4	40
	Bomba PPC	1	1	3	3
	Línea hidráulica: filtro PPC a acumulador	1	1	2	2
	Línea hidráulica: acumulador y partes relacionadas de la válvula solenoide	1	1	4	4
	Línea hidráulica: válvula selectora	1	1	3	3
	Línea hidráulica: línea de llenado rápido de aceite	1	1	1	1
	Línea hidráulica: filtro en línea y paso	3	1	2	6
	Línea hidráulica: línea de enfriamiento	1	1	1	1
Otras líneas	Línea hidráulica: línea sensor del medidor de carga	1	1	1	1
	Línea hidráulica: línea del ventilador del enfriador de combustible	4	1	2	8

Mediante el análisis de Pareto, según la calificación dada en la tabla anterior, se procede a elegir los subsistemas más críticos

% INDIVIDUAL = FRECUENCIA INDIVIDUAL / TOTAL DE FRECUENCIAS

% ACUMULADO = % INDIVIDUAL + \sum (% INDIVIDUALES ANTERIORES)

CUADRO N° 7
ANÁLISIS DE PARETO POR GRAVEDAD DE LOS
SUBSISTEMAS DEL SISTEMA HIDRÁULICO

Ítem	Objetivo	Subsistema	Gravedad	Acumulado Gravedad	Acumulado Gravedad (%)
1	Dirección de emergencia	Válvula de dirección de emergencia	96	96	20.43%
2	Movimiento de implementos	Línea de dirección hidráulica: línea de control de la válvula piloto	40	136	28.94%
3	Dirección hidráulica	Válvula de dirección	24	160	34.04%
4	Dirección hidráulica	Válvula EPC	18	178	37.87%
5	Movimiento de implementos	Bomba hidráulica Nro.1	18	196	41.70%
6	Movimiento de implementos	Bomba hidráulica Nro.2	18	214	45.53%
7	Movimiento de implementos	Válvula de control	18	232	49.36%
8	Dirección hidráulica	Líneas del cilindro de dirección	16	248	52.77%
9	Dirección de emergencia	Tuberías de válvula de dirección de emergencia	16	264	56.17%
10	Movimiento de implementos	Línea alta y baja del cilindro de levante	16	280	59.57%
11	Dirección hidráulica	Línea de la válvula de dirección	12	292	62.13%
12	Dirección de emergencia	Tubería de drenaje	12	304	64.68%
13	Movimiento de implementos	Bomba de control	12	316	67.23%
14	Movimiento de implementos	Línea de retorno de la válvula de control	12	328	69.79%
15	Movimiento de implementos	Línea hidráulica (filtro en línea a válvula de control)	12	340	72.34%
16	Movimiento de implementos	Línea hidráulica (bomba switch a tubo frontal)	12	352	74.89%
17	Movimiento de implementos	Succión PPC y línea de drenaje	12	364	77.45%
18	Movimiento de implementos	Válvula PPC línea trasera	12	376	80.00%
19	Dirección hidráulica	Bomba de dirección	10	386	82.13%
20	Dirección de emergencia	Tuberías de la bomba de dirección de emergencia	8	394	83.83%
21	Dirección de emergencia	Bomba de dirección de emergencia	8	402	85.53%

22	Movimiento de implementos	Línea alta y baja del cilindro de volteo	8	410	87.23%
23	Otras líneas	Línea hidráulica: línea del ventilador del enfriador de combustible	8	418	88.94%
24	Movimiento de implementos	Válvula PPC línea frontal	6	424	90.21%
25	Movimiento de implementos	Línea hidráulica: filtro en línea y paso	6	430	91.49%
26	Dirección hidráulica	Línea de retorno de la válvula de demanda de dirección	4	434	92.34%
27	Dirección de emergencia	Tubería de aspiración	4	438	93.19%
28	Dirección de emergencia	Línea de válvula de dirección de emergencia	4	442	94.04%
29	Movimiento de implementos	Línea hidráulica: bomba de carga a filtro en línea	4	446	94.89%
30	Movimiento de implementos	Línea hidráulica: acumulador y partes relacionadas de la válvula solenoide	4	450	95.74%
31	Movimiento de implementos	Bomba switch	3	453	96.38%
32	Movimiento de implementos	Bomba PPC	3	456	97.02%
33	Movimiento de implementos	Línea hidráulica: válvula selectora	3	459	97.66%
34	Movimiento de implementos	Línea hidráulica: línea de succión hidráulica de la bomba del cargador	2	461	98.09%
35	Movimiento de implementos	Línea hidráulica: línea de drenado de bomba	2	463	98.51%
36	Movimiento de implementos	Línea de succión hidráulica de la bomba switch dirección	2	465	98.94%
37	Movimiento de implementos	Línea hidráulica: filtro PPC a acumulador	2	467	99.36%
38	Movimiento de implementos	Línea hidráulica: línea de llenado rápido de aceite	1	468	99.57%
39	Movimiento de implementos	Línea hidráulica: línea de enfriamiento	1	469	99.79%
40	Otras líneas	Línea hidráulica: línea sensor del medidor de carga	1	470	100.00%

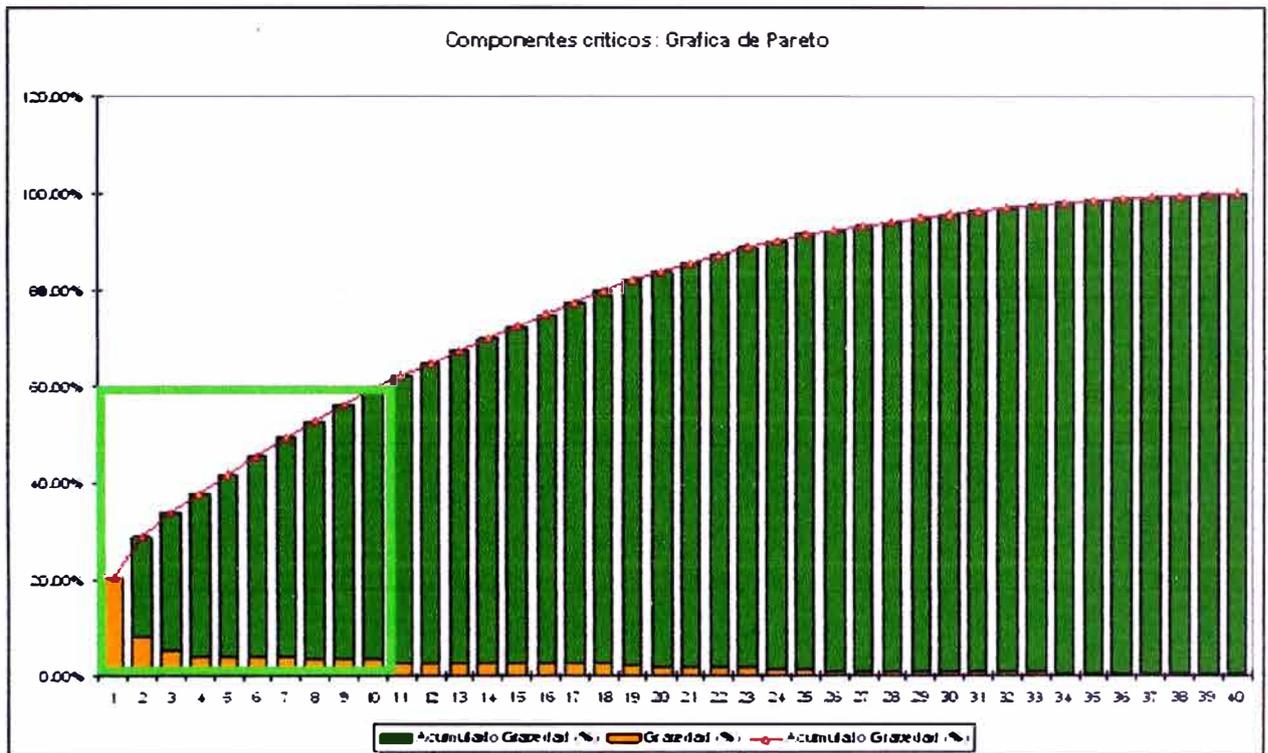


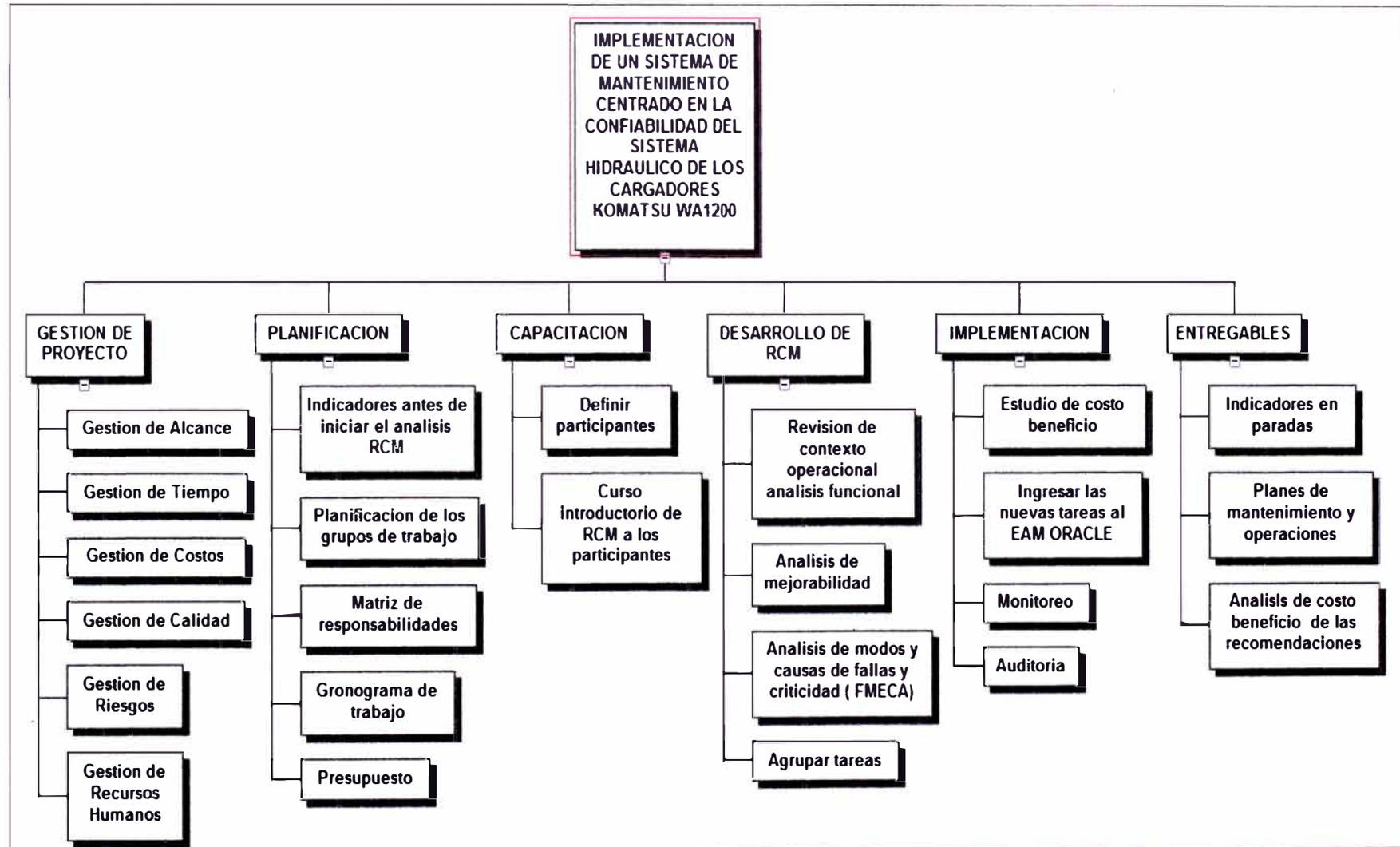
GRAFICO N° 6
COMPONENTES CRÍTICOS: GRAFICA DE PARETO

3.1.4 Planificación de Grupos de Trabajo

El desarrollo de este proyecto estuvo conformado por 4 personas

- Anderson Maldonado - líder del proyecto
- Elio Pomar - analista predictivo
- Julio Noel – Jefe de proyecto Komatsu Mitsui
- Alberto Mares - Becario

3.1.5 Estructura de Desglose del Trabajo EDT



3.2 ANÁLISIS FUNCIONAL

Diagrama Funcional de Bloques, Árbol de Falla y Fmeca

Para el presente capítulo se desarrollara un diagrama funcional de bloques del sistema hidráulico del cargador WA1200-3 de modo que sea fácil identificar sus componentes principales, se haga mas comprensible su funcionamiento y sea mas sencillo deducir las causas de falla.

De manera adicional se analizara los componentes que durante el año produjeron las paradas más extensas, independientemente de su pertenencia al sistema hidráulico.

Diagramas Funcionales

Para comprender de manera mas clara la interacción de los componentes en cada sistema se procede a confeccionar los diagramas funcionales de cada uno de los mismos

3.2.1 Diagrama Entrada Función Salida

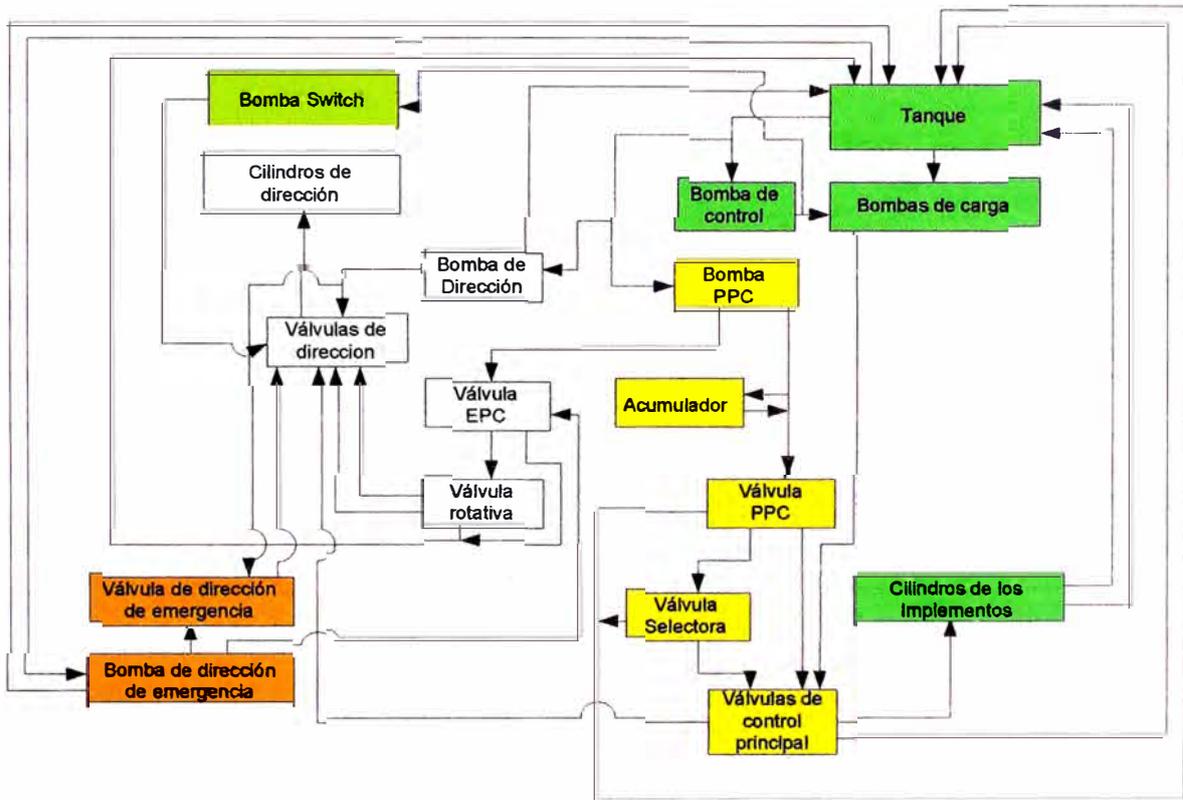
CUADRO N° 8
ENTRADA FUNCIÓN SALIDA DE CARGADOR WA1200-3

Entradas	Funciones	Salidas
<p>El frente de trabajo del equipo debe reunir las siguientes condiciones :</p> <p>El diámetro de la roca debe ser menor a un metro.</p> <p>La dureza de la roca es de 0 a 5 (valor determinado según la escala de Mohs).</p> <p>Humedad del material 5 a 8%</p> <p>Angulo de ataque del cargador al frente de trabajo es de 25°</p> <p>Altura máxima de trabajo del cargador es de 11.865 mts.</p>	Carguio de mineral o desmonte	<p>Tiempo Total de carguío a un camión: 2.2 - 2.4 min.</p> <p>La capacidad de carga de la cuchara es de a 40 - 50 Tn.</p> <p>Capacidad de carga de un camión 150 Tn.</p>

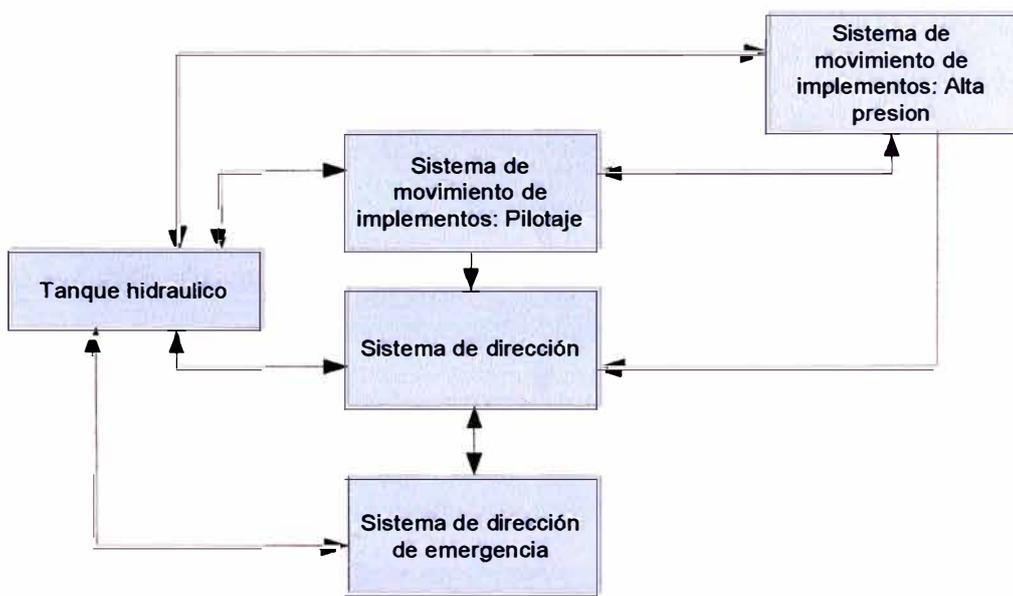
CUADRO N° 9

**ENTRADA FUNCIÓN SALIDA DEL SISTEMA
HIDRÁULICO DEL CARGADOR WA1200-3**

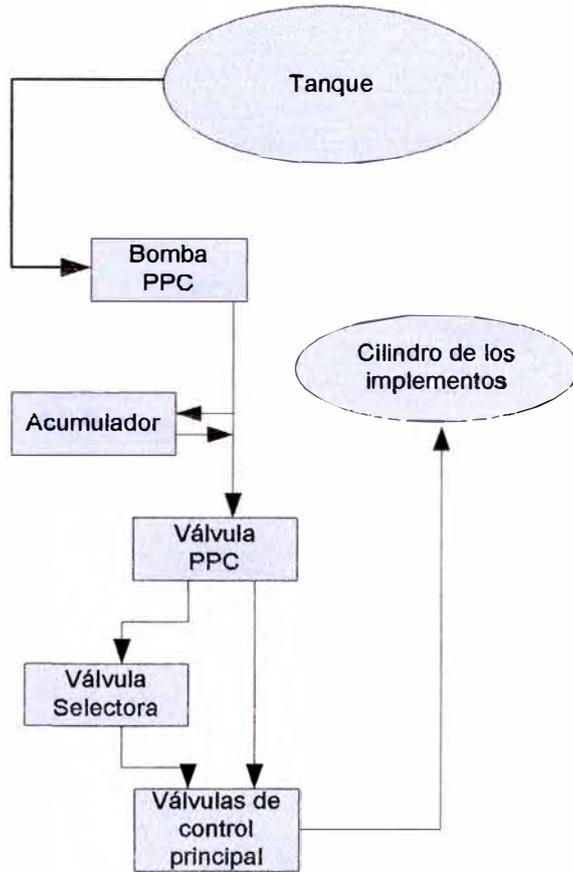
Entradas	Funciones	Salidas
<p>Temperatura del aceite 44-55°C Nivel de aceite 501.60 US Gal.</p>	<p>Transferir fuerza mecánica del Motor a los implementos Accionamiento de la dirección</p>	<p>Velocidad de levante (sin carga, motor en alta) 12 - 13s Velocidad de bajada (sin carga, motor en alta) 4.5 - 5.5s</p>
<p>Presión de bomba de control. Motor en alta: 2.94 + 0.98 Mpa. Calibración presión de bomba de alivio. Motor en alta: 31.07 - 32.34 Mpa.</p>	<p>Mantener el aceite hidráulico sin contaminación</p>	<p>Velocidad de volteo del cucharón con el brazo totalmente levantado (sin carga, motor en alta) 3.4 - 4.0s Velocidad de volteo del cucharón con el brazo a nivel del piso levantado (sin carga, motor en alta) 2.0 - 2.6s</p>
<p>Calibración de presión de la bomba PPC. Motor en alta: 3.72 - 3.92 Mpa.</p>		<p>Desvío de los pines de bisagra del cucharón (sin carga y con el motor apagado) con el brazo a media altura. Hasta 250mm</p>
<p>Calibración de presión principal válvula PPC. Motor en alta: PPC 3.72 - 3.92 Mpa.</p>		<p>Desvío del filo de los dientes del cucharón (sin carga y con el motor apagado) con el brazo a media altura. Hasta 100mm</p>
<p>Calibración de presión de salida de la válvula PPC - Posición del brazo de levante (levantando/Flotante) Posición del cucharón (recogiendo y botando) 3.72 - 3.92 Mpa.</p>		<p>Presión de salida del orbitroll 3.43 - 4.7 Mpa.</p>
<p>Calibración de presión de salida de la válvula PPC - Posición del brazo de levante (levantando/Flotante) Bajando el brazo de levante 2.49 - 2.59 Mpa.</p>		<p>Presión del acumulador PPC 1.6 - 2.9 Mpa.</p>
		<p>Tiempo de giro de la dirección desde el tope izquierdo al tope derecho o viceversa. (Motor en baja) 6.5s Tiempo de giro de la dirección desde el tope izquierdo al tope derecho o viceversa. (Motor en alta) 5.6s</p>



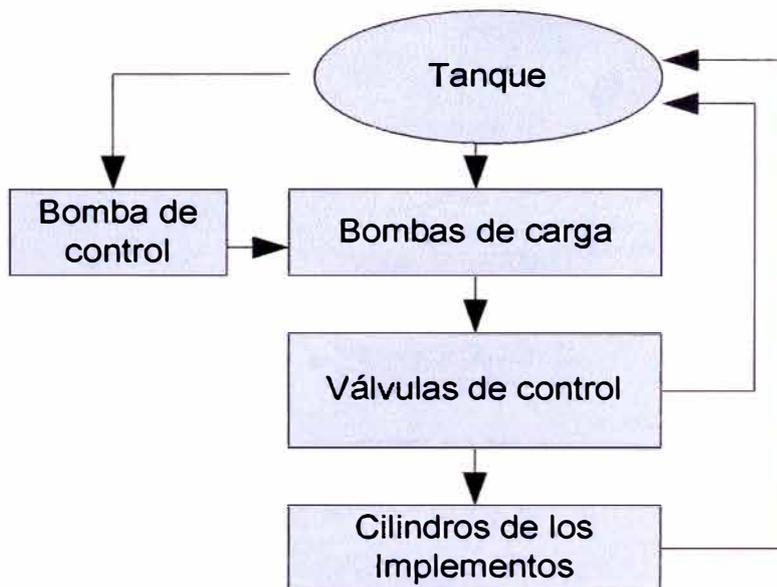
DIBUJO N° 3
SISTEMAS PRINCIPALES



DIBUJO N° 4
SISTEMAS PRINCIPALES RESUMIDO

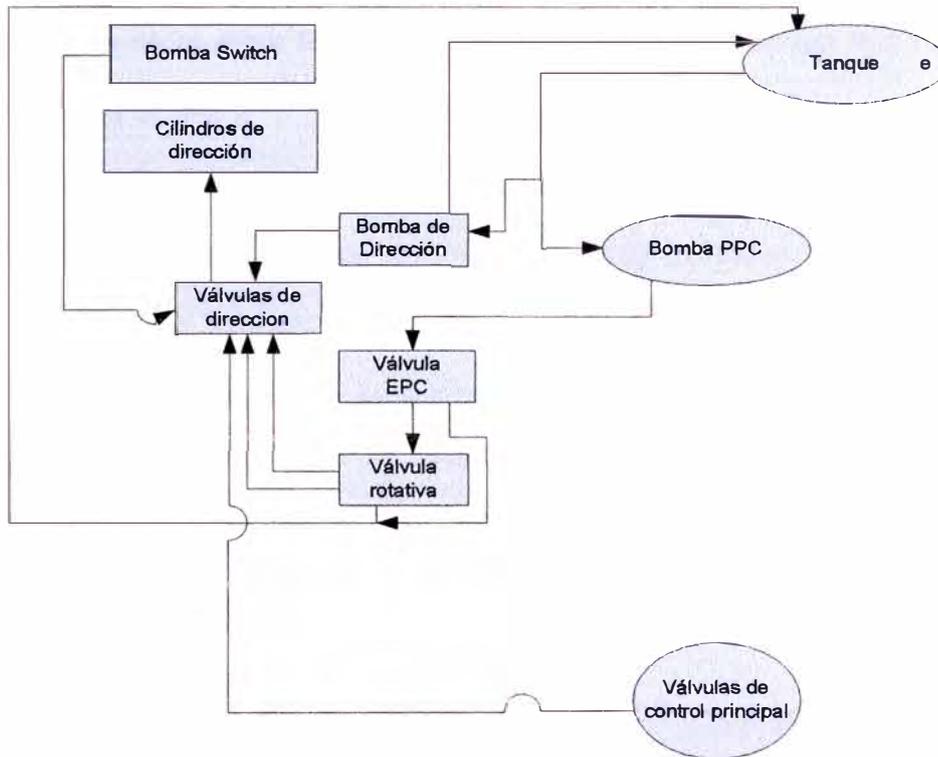


DIBUJO N° 5
SISTEMAS DE MOVIMIENTO DE IMPLEMENTOS:
ALTA PRESIÓN

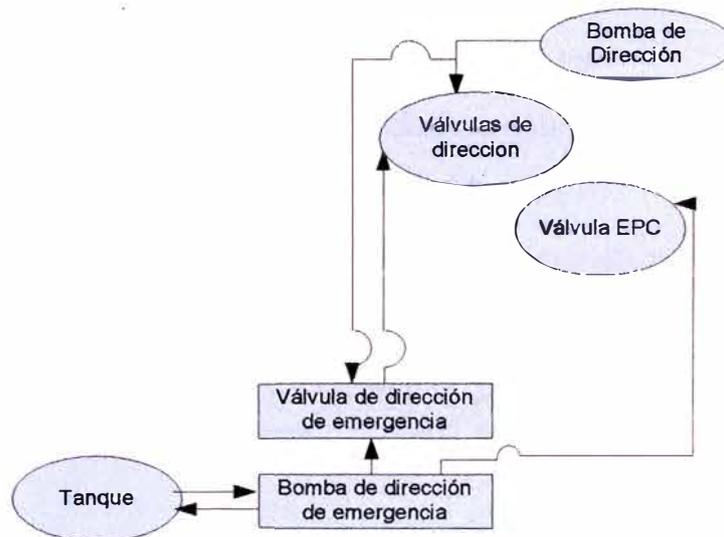


DIBUJO N° 6

SISTEMA DE MOVIMIENTO DE IMPLEMENTOS: ALTA PRESIÓN 2



**DIBUJO N° 7
SISTEMA DE DIRECCIÓN**



**DIBUJO N° 8
SISTEMA DE DIRECCIÓN DE EMERGENCIA**

3.2.2 Análisis Funcional de la Mina Pierina

El proceso de la mina Pierina de manera genérica y según sus funciones o etapas se muestra anexo 2

Sobre el mismo enfoque y para los diagramas funcionales asociados al sistema hidráulico de implementos de los cargadores frontales Komatsu WA1200, es una representación secuencial de alto nivel, donde se muestra las principales funciones que realizan cada uno de los procesos o sistemas de manera agrupada como función unitaria.

3.2.3 Equipos principales de la Flota Mina en Pierina

	27 Camiones entre CAT y Komatsu
	01 Palas O&K RH120C
	06 Cargadores (994D, 992G y WA1200) - (2 c/u)
	03 Perforadoras Ingersoll Rand DMM2
	07 Tractores sobre Orugas
	03 Motoniveladoras 16H
	01 Camiones Aljibes 777C
	03 Tractores sobre Neumáticos 834B
	01 Cargador 980G
	02 Excavadoras 330 BLM y 330CL

3.3 DESARROLLO DEL DIAGRAMA CAUSA - EFECTO

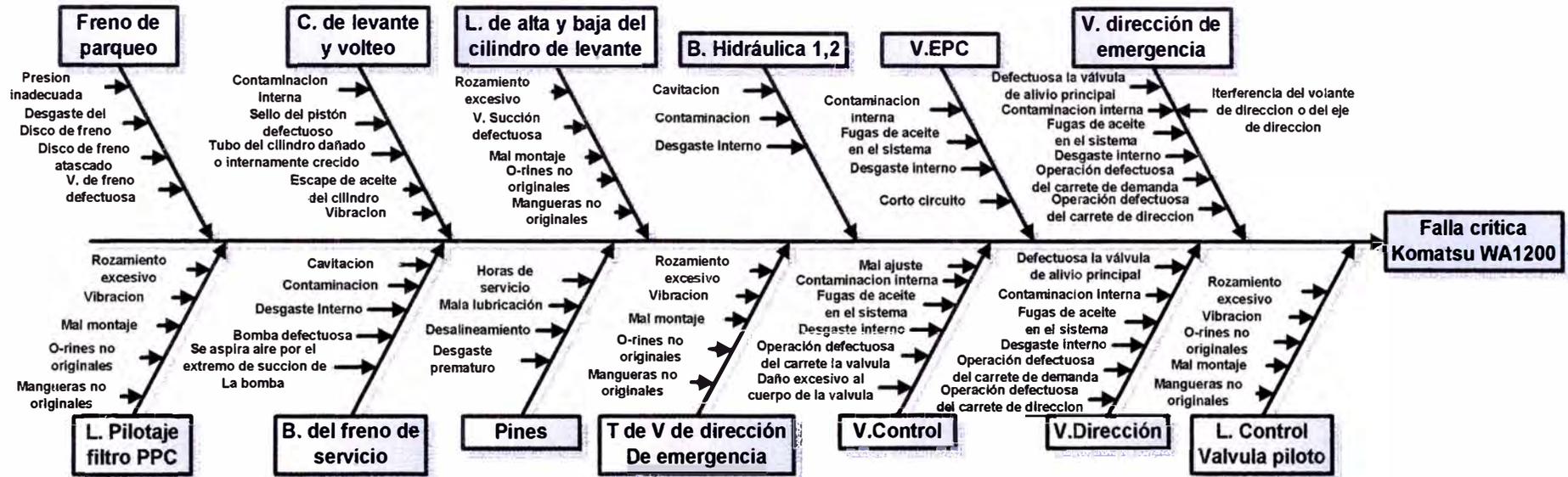


GRAFICO N° 7

DIAGRAMA DE ESPINA DE PESCADO DE LAS FALLAS CRITICAS DEL CARGADOR WA1200-3

3.4 EFECTOS DE FALLA

En este capítulo procederemos a listar las consecuencias de la falla de estos componentes, mirando mas allá de los costos inmediatos de reparación del mismo.

**CUADRO N° 10
CAUSAS Y EFECTOS DE FALLA**

Subsistema	Causas	Efectos
Válvula de dirección de emergencia	Contaminación del sistema de hidráulico (cambio de aceite de dirección), sobre presión en las mangueras, cambio del componente	Parada de equipo, cambio de componente
Línea de dirección hidráulica: línea de control de la válvula piloto	Fugas de aceite	parada de equipo, contaminación del sistema, cambio del componente
Válvula de dirección	Desgaste la válvula de dirección de emergencia	contaminación del sistema , parada del equipo, cambio del componente
Válvula EPC	Desgaste de los Spool de control (válvulas internas)	Parada del equipo, sobre presión en las mangueras, cambio del componente
Bomba hidráulica Nro.1/Nro.2	Bajo nivel de aceite, vida útil, reparación inadecuada, instalación inadecuada	Parada del equipo, contaminación del sistema (cambio de aceite hidráulico), cambio de aceite del sistema, cambio del componente
Válvula de control	Desgaste prematuro, calibración inadecuada	Parada de equipo, contaminación del sistema desgaste los cilindros de levante, cambio del componente
Tuberías de válvula de dirección de emergencia	Vibración y rozamiento , mala instalación, vida útil	Fugas de aceite, contaminación al sistema
Línea alta y baja del cilindro de levante	Vibración y rozamiento , mala instalación, vida útil	Fugas, cortaminación al sistema
Pines	Mala lubricación, bajo nivel de aceite, instalación inadecuada	Parada de equipo Desgaste del Boom, H-Frame, Bucket, Desalineamiento,
Cilindros de levante y volteo	Reparación inadecuada, contaminación del aceite hidráulico, vida útil	Parada del equipo, contaminación del sistema, fugas de aceite, cambio del componente
Bomba del freno de servicio	Bajo nivel de aceite, vida útil, reparación inadecuada, instalación inadecuada	Desgaste de discos, cambio del componente

Freno de parqueo	Sobre presión de aceite hidráulico, reparación inadecuada, instalación inadecuada	Desgaste de discos, desgaste de resortes, cambio del componente, agotamiento del freno de emergencia
Línea de pilotaje de filtro PPC	Instalación inadecuada, vibración, mal prensado, rozamiento	Fugas, contaminación al sistema

TAREAS RECOMENDADAS

Finalmente luego de haber analizado las fallas, el modo, las causas y las consecuencias de las fallas estableceremos soluciones de acuerdo al nivel de estas fallas, estableceremos responsables y un programa de acción para implementar estas acciones.

Para incrementar la confiabilidad de los equipos las tareas deben estar orientadas a disminuir la frecuencia mensual de ocurrencia de las fallas, sin embargo, también se ha incluido tareas orientadas a disminuir el MTTR de las fallas con el fin de incrementar el efecto positivo de este trabajo.

CUADRO N° 11
TAREAS RECOMENDADAS

Problema	Tarea recomendada
Parada del equipo, contaminación del sistema, cambio de aceite del sistema, cambio del componente	Establecer un programa de cambio de filtros cada 500 hrs.
Parada de equipo, contaminación del sistema de hidráulico, sobre presión en las mangueras, desgaste los cilindros de levante, cambio del componente	Registrar las fechas de instalación, horometro y establecer cambiar cada 15000 horas
Desgaste la válvula de dirección de emergencia, contaminación del sistema, parada del equipo, cambio del componente	Registrar las fechas de instalación, horometro y establecer cambiar cada 14000 horas
Parada de equipo, contaminación del sistema de	Registrar las fechas de

hidráulico, sobre presión en las mangueras, cambio del componente	instalación, horometro y establecer cambiar cada 14000 horas
Parada del equipo, sobre presión en las mangueras, cambio del componente	Registrar las fechas de instalación, horometro y establecer cambiar cada 18000 horas
Fugas, contaminación al sistema, cambio del componente	Establecer un programa de revisión trimestral de mangueras del cargador
Fugas de aceite, para de equipo, contaminación del sistema, cambio del componente	
Fugas, contaminación al sistema, cambio del componente	
Fugas, contaminación al sistema, cambio del componente	
Parada del equipo, contaminación del sistema, cambio de aceite del sistema, cambio del componente	Abastecimiento de aceite a través de acoples Wiggins
Fugas de aceite, para de equipo, contaminación del sistema, cambio del componente	Contar con las especificaciones de cada manguera por sistema
Fugas, contaminación al sistema, cambio del componente	
Fugas, contaminación al sistema, cambio del componente	
Fugas, contaminación al sistema, cambio del componente	
Fugas de aceite, para de equipo, contaminación del sistema, cambio del componente	Definir stock mínimos y máximos en almacén
Fugas, contaminación al sistema, cambio del componente	
Fugas, contaminación al sistema, cambio del componente	
Parada del equipo, contaminación del sistema, fugas de aceite, cambio de aceite, cambio del componente	
Parada del equipo, contaminación del sistema, cambio de aceite del sistema, cambio del componente	
Parada de equipo Desgaste del Boom, H-Frame, Bucket, Desalineamiento, cambio del componente	
Desgaste de discos, desgaste de resortes, cambio del componente	Instalar un acumulador para compensar eventos de baja presión de frenos
Desgaste de discos, cambio del componente	Instalar una toma rápida para el muestreo de aceite de frenos,
Fugas, contaminación al sistema, cambio del componente	

Fugas, contaminación al sistema, cambio del componente	
Parada del equipo, contaminación del sistema, cambio de aceite del sistema, cambio del componente	
Fugas, contaminación al sistema, cambio del componente	
Fugas de aceite, para de equipo, contaminación del sistema, cambio del componente	
Fugas, contaminación al sistema, cambio del componente	
Fugas, contaminación al sistema, cambio del componente	
Parada de equipo, contaminación del sistema de hidráulico, sobre presión en las mangueras, desgaste los cilindros de levante, cambio del componente	
Desgaste la válvula de dirección de emergencia, contaminación del sistema, parada del equipo, cambio del componente	
Parada de equipo, contaminación del sistema de hidráulico, sobre presión en las mangueras, cambio del componente	
Parada del equipo, sobre presión en las mangueras, cambio del componente	
Fugas, contaminación al sistema, cambio del componente	
Fugas de aceite, para de equipo, contaminación del sistema, cambio del componente	Poner en stock un Kit de orings KOMATSU, e instalar
Fugas, contaminación al sistema, cambio del componente	
Fugas, contaminación al sistema, cambio del componente	
Desgaste la válvula de dirección de emergencia, contaminación del sistema, parada del equipo, cambio del componente	
Parada de equipo, contaminación del sistema de hidráulico, sobre presión en las mangueras, cambio del componente	Realizar test de toma de presiones
Parada de equipo, contaminación del sistema de hidráulico, sobre presión en las mangueras, desgaste los cilindros de levante, cambio del componente	
Parada del equipo, sobre presión en las mangueras, cambio del componente	
Fugas, contaminación al sistema, cambio del componente	
Fugas de aceite, para de equipo, contaminación del sistema, cambio del componente	Registrar las fechas de instalación, horometro
Fugas, contaminación al sistema, cambio del componente	

Fugas, contaminación al sistema, cambio del componente	
Parada del equipo, contaminación del sistema, fugas de aceite, cambio de aceite, cambio del componente	Solicitar que la reparación se haga con sellos originales

3.5 DESARROLLO DE LOS FMECA'S(IMPLEMENTACION DE RCM)

Luego del análisis realizado en donde se incluyen los criterios y el método se presentan los subsistemas críticos.

CUADRO N° 12
SUBSISTEMAS CRÍTICOS

Subsistema	Ponderación de gravedad
Válvula de dirección de emergencia	20.43%
Línea de dirección hidráulica: línea de control de la válvula piloto	8.51%
Válvula de dirección	5.10%
Válvula EPC	3.83%
Bomba hidráulica Nro.1	3.83%
Bomba hidráulica Nro.2	3.83%
Válvula de control	3.83%
Líneas del cilindro de dirección	3.41%
Tuberías de válvula de dirección de emergencia	3.40%
Línea alta y baja del cilindro de levante	3.40%

A estos subsistemas identificados le agregaremos aquellos componentes que se habían identificado en el área como representantes de las paradas mas largas durante este año.

CUADRO N° 13
PARADAS MÁS EXTENSAS DURANTE EL AÑO

Ítem	Horas de parada	Función
Pines	150	Servir de eje de giro para las articulaciones del cargador
Cilindros de levante y volteo	64	Proporcionar el movimiento de los implementos (levante y volteo)
Bomba del freno de servicio	43	Entregar caudal a la válvula del freno de servicio
Freno de parqueo	35	Frenar el eje de salida
Línea de pilotaje de filtro PPC	29	Purificar el aceite que pasa entre la bomba PPC y el acumulador

3.6 DESARROLLO DE AGRUPADOS DE TAREAS IMPLEMENTACION

Cronograma y avance

**CUADRO N° 14
RESPONSABLES Y CRONOGRAMA DE ACCIÓN**

Tarea recomendada	Acción	Responsable	Estado
Establecer un programa de cambio de filtros cada 500 hrs.	Modificar el programa quincenal para que muestre la fecha a realizar los cambios	A. Mares/ A. Maldonado	Completo
Registrar las fechas de instalación, horometro y establecer cambiar cada 15000 horas	Modificar el programa quincenal para que muestre la fecha a realizar los cambios	A. Mares A. Maldonado	Completo
Registrar las fechas de instalación, horometro y establecer cambiar cada 14000 horas			
Registrar las fechas de instalación, horometro y establecer cambiar cada 14000 horas			
Registrar las fechas de instalación, horometro y establecer cambiar cada 18000 horas			
Establecer un programa de revisión trimestral de mangueras del cargador	Modificar el programa quincenal para que muestre la fecha a realizar la revisión trimestral	A. Mares A. Maldonado	Completo
Abastecimiento de aceite a través de acoples Wiggins	Elaborar requisición por acoples Wiggins para estandarizar los acoples de los equipos	A. Maldonado	Implementación
Contar con las especificaciones de cada manguera por sistema	Solicitar información a talleres hidráulicos	A. Maldonado	Completo
Definir stock mínimos y máximos en almacén	Análisis de requisiciones y generar solicitud	A. Maldonado	Implementación
Establecer un sistema de monitoreo diario de pines, temperatura (, nivel de aceite (por encima de 5 galones)	Modificar el formato de chequeo de pines de REDESIN	E. Pomar A. Mares	Completo
Instalar un acumulador para compensar eventos de baja presión de frenos	Instalar acumulador a cargadores	E. Pomar A. Maldonado	Completo
Instalar una toma rápida para el muestreo de aceite de frenos,	Instalar tomas rápidas de muestreo	E. Pomar A. Mares	Implementación Prueba de acoples
Poner en stock un KIT de orines KOMATSU, instalar	Análisis de requisiciones y generar solicitud	A. Maldonado	Completo
Realizar test de toma de presiones	Generar un test de toma de presiones	E. Pomar	Completo
Registrar las fechas de instalación, horómetro	Uso de cintillos para colocar los datos en las mangueras	E. Pomar A. Maldonado	Implementación
Solicitar que la reparación se haga con sellos originales	Coordinar y establecer estándares con los proveedores encargados de la reparación de estos componentes	A. Maldonado	Completo

CAPITULO IV

4 COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN DE RCM

Los Costos son la inversión de dinero que hace el empresario para comprar las mercaderías o los materiales, insumos y mano de obra para producir bienes o servicios que vende; lo que se gasta para vender sus productos o servicios; y lo que se gasta para el funcionamiento de la empresa.

Costos Directos: son aquellos costos que están relacionados directamente con los productos que fabrica o los servicios que produce o vende. En el caso de un comerciante minorista o mayorista, los costos directos serán lo que le cuesta comprar las mercaderías que vende.

Costos Indirectos: son aquellos costos que se realizan para operar toda la empresa, y no intervienen directamente en el producto o servicio. Por ejemplo: los salarios del personal de ventas, el sueldo del dueño de la empresa, empleados administrativos, alquiler del local, teléfono, electricidad, Internet, interés de un préstamo, materiales de limpieza, entre otros.

Distribución de los costos de mantenimiento

CUADRO N° 15
COSTOS DE MANTENIMIENTO 2009
(HASTA EL 31 DE AGOSTO 2009)

Equipo	Horas Operativas	%	Costo MO	Costo Materiales	Costo Total	US\$/Hr
C06	2,592.50	45.10%	86,190.64	1,161,003.34	1,247,193.98	481.08
C07	3,156.00	54.90%	114,742.39	1,588,500.68	1,703,243.07	539.68
Total	5,748.50	100.00%	200,933.04	2,749,504.02	2,950,437.06	1,020.76

Fuente: Reporte de costos horarios 2009

4.1 Costos de mantenimiento prorrateados al costo de US\$/Hr para el año 2009

Según el reporte del Dispatch por tiempo de parada y considerando el costo de parada de los equipos se hace una aproximación de los costos ocasionados se parados por los sistemas del equipo:

CUADRO N° 16
COSTOS APROXIMADOS DE PARADA 2009
(HASTA EL 31 DE AGOSTO 2009)

Sistema	Total
Equipo de trabajo	\$1,653,770.44
Sistema hidráulico	\$368,570.10
Convertidor de torque y transmisión	\$199,593.53
Motor y partes relacionadas	\$136,529.05
Sistema eléctrico	\$84,257.45
Main/revolving frame and related parts	\$83,193.62
Compartimento del operador y sistema de control	\$66,065.01
Guardas	\$43,100.85
Suspensión y rueda y partes relacionadas	\$43,100.85
Tanque de combustible y partes relacionadas	\$32,743.18
Sistema de enfriamiento	\$28,107.55
Radio	\$15,308.53
Total general	\$2,754,340.17

Reporte de costos horarios 2009

Como puede apreciarse los valores prorrateados suman un total de \$2,754,340.17 en relación al valor real de \$2,950,437.06 haciendo un ligero reajuste por regla de 3 los costos de mantenimiento por sistema serian:

CUADRO N° 17

**COSTOS REAJUSTADOS DE PARADA 2009
(HASTA EL 31 DE AGOSTO 2009)**

Sistema	Total
Equipo de trabajo	\$1,771,511.61
Sistema hidráulico	\$394,810.67
Convertidor de torque y transmisión	\$213,803.71
Motor y partes relacionadas	\$146,249.32
Sistema eléctrico	\$90,256.21
Main/revolving frame and related parts	\$89,116.64
Compartimento del operador y sistema de control	\$70,768.55
Guardas	\$46,169.45
Suspensión y rueda y partes relacionadas	\$46,169.45
Tanque de combustible y partes relacionadas	\$35,074.35
Sistema de enfriamiento	\$30,108.69
Radio	\$16,398.43
Total general	\$2,950,437.06

Haciendo un cálculo de Pareto:

CUADRO N° 18

CALCULO DE PARETO – COSTOS DE PARADA 2009

Sistema	Porcentaje Acumulado
Equipo de trabajo	60.04%
Sistema hidráulico	73.42%
Convertidor de torque y transmisión	80.67%
Motor y partes relacionadas	85.63%
Sistema eléctrico	88.69%
Main/revolving frame and related parts	91.71%
Compartimento del operador y sistema de control	94.11%
Guardas	95.67%
Suspensión y rueda y partes relacionadas	97.23%
Tanque de combustible y partes relacionadas	98.42%
Sistema de enfriamiento	99.44%
Radio	100.00%

$\% \text{ INDIVIDUAL} = \text{FRECUENCIA INDIVIDUAL} / \text{TOTAL DE FRECUENCIAS}$

$\% \text{ ACUMULADO} = \% \text{ INDIVIDUAL} + \sum (\% \text{ INDIVIDUALES ANTERIORES})$

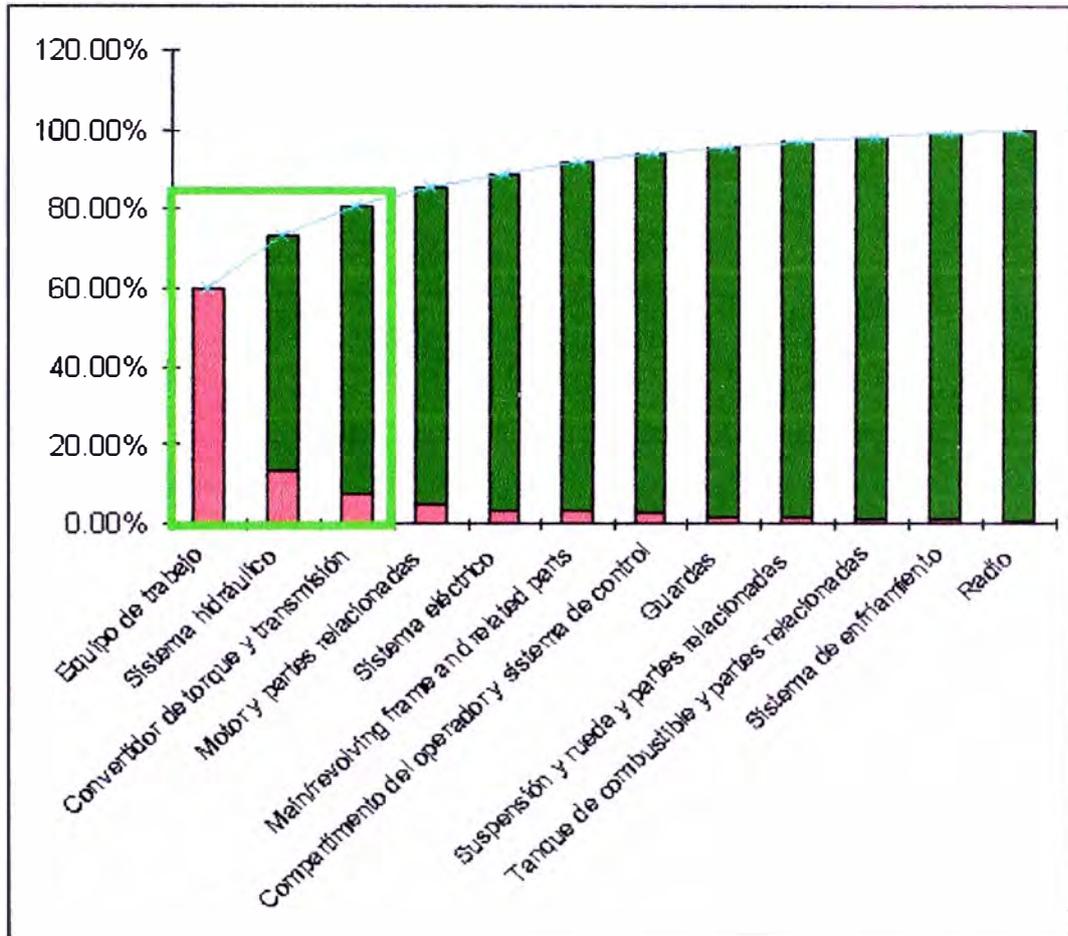


GRAFICO N° 8
DIAGRAMA DE PARETO: COSTOS DE PARADA

Costos totales de los modos de falla

Para calcular los costos totales de falla se utilizara la siguiente formula:

$$\text{Costo Total} = \text{Costo de intervención} + \text{Costo de falla}$$

Costo de intervención

Debido al nivel de estudio, que alcanza a subsistemas hidráulicos, los costos de de mano de obra, y repuestos serán en función a un promedio para el trabajo de cada una de sus partes

$$\text{Costo de intervención} = \text{Costo de mano de obra} * \text{MTTR} + \text{Costo Repuesto}$$

En la siguiente tabla se muestra la frecuencia de intervenciones referida a cada uno de los subsistemas críticos.

CUADRO N° 19

ANÁLISIS FRECUENCIA DE SOLICITUD DE REPUESTOS SUBSISTEMAS CRÍTICOS

Subsistema	Frecuencia Mensual
Válvula de dirección de emergencia	0.500
Línea de dirección hidráulica: línea de control de la válvula piloto	1.125
Válvula de dirección	0.000
Válvula EPC	0.125
Bomba hidráulica Nro.1	0.000
Bomba hidráulica Nro.2	0.000
Válvula de control	0.000
Tuberías de válvula de dirección de emergencia	0.625
Línea alta y baja del cilindro de levante	0.375
Pines	0.143
Cilindros de levante y volteo	0.143

Bomba del freno de servicio	0.143
Freno de parqueo	0.143
Línea de pilotaje de filtro PPC	0.143

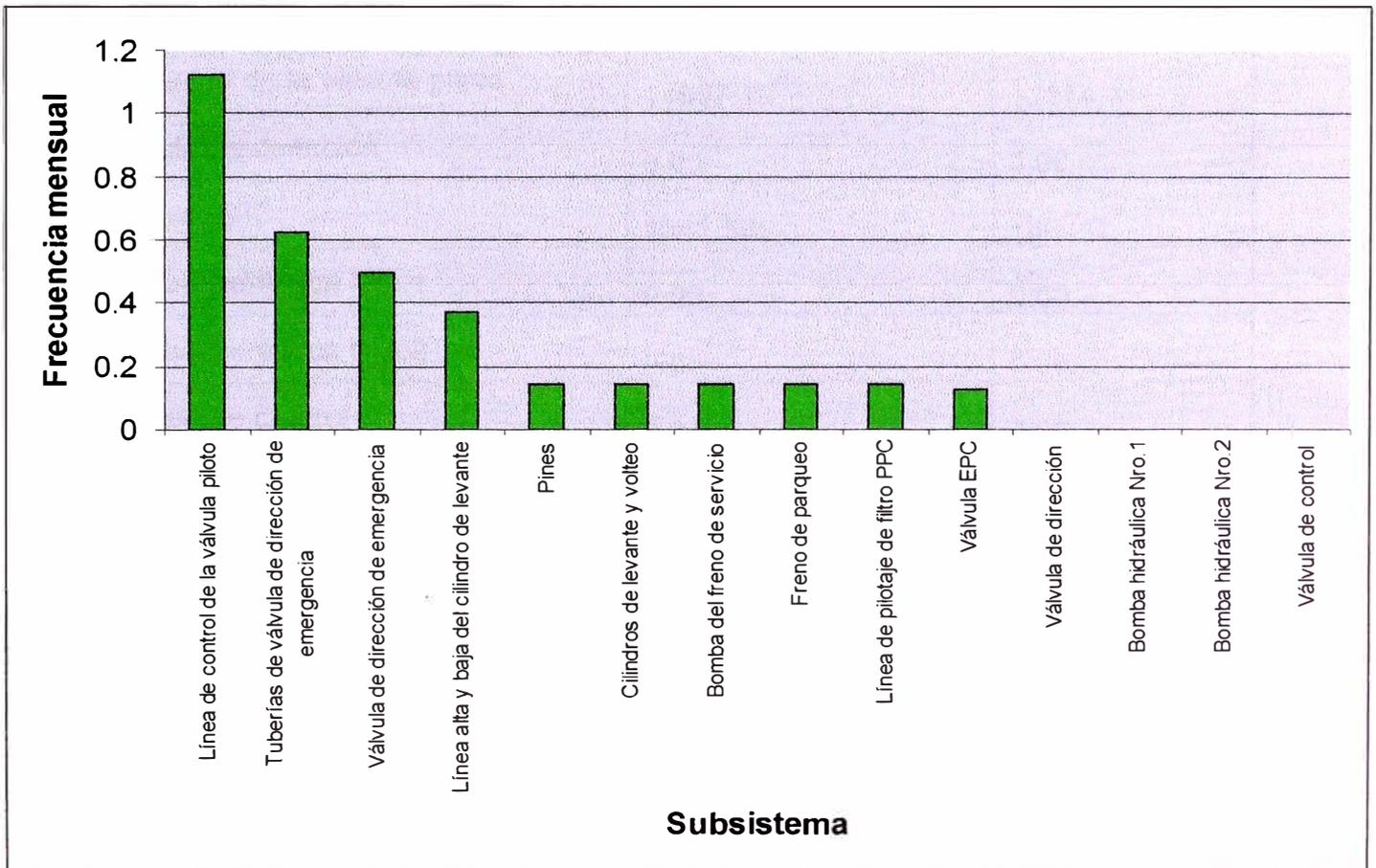


GRAFICO N° 9
FALLAS EN LOS SUBSISTEMAS

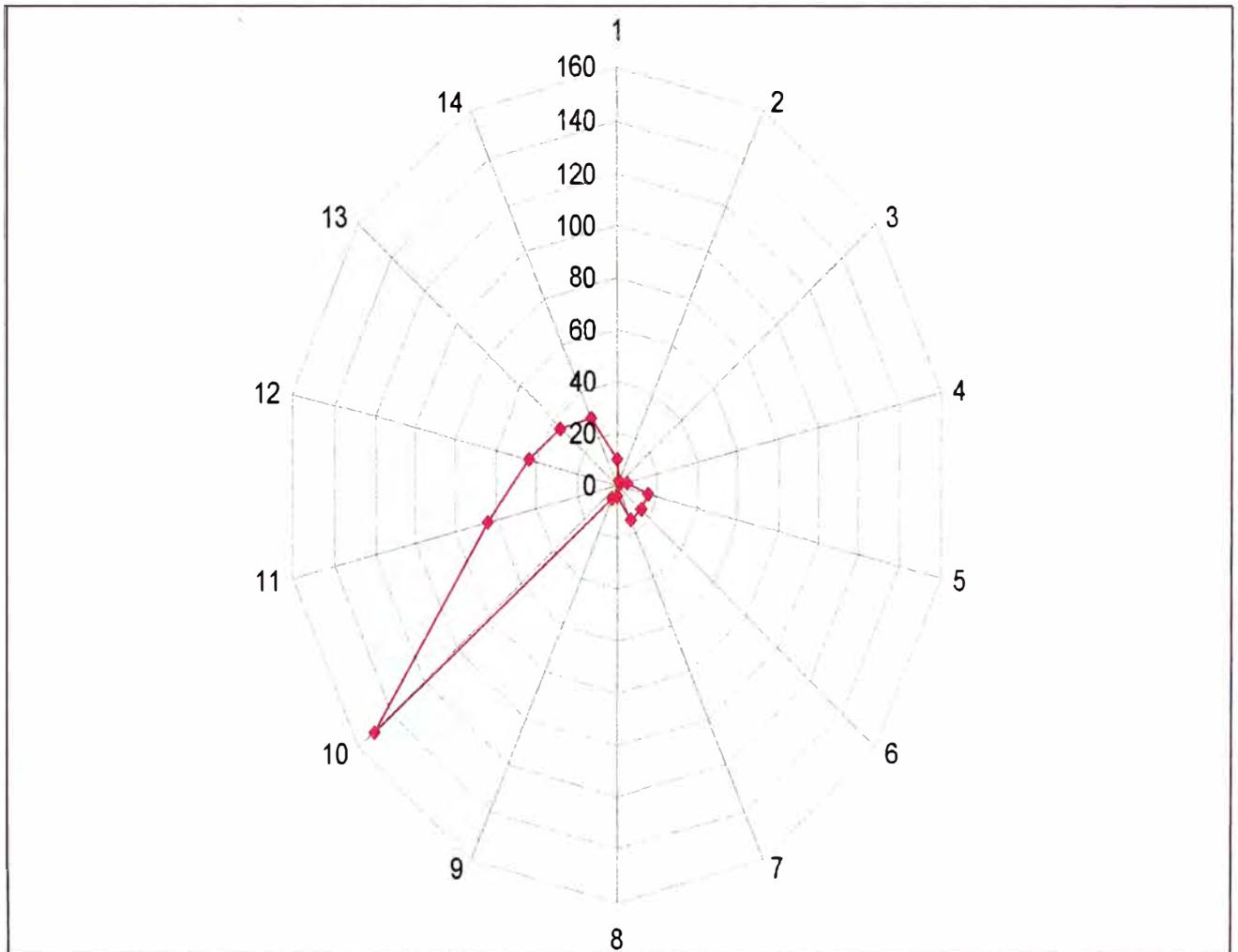
CUADRO N° 20

COSTO DE REPUESTOS SUBSISTEMAS CRÍTICOS

Subsistema	Costo total del valor de los repuestos (US\$) 01/01/2009-31/08/2009	Costo Promedio (US\$/Pedido)
Válvula de dirección de emergencia	143.36	71.68
Línea de dirección hidráulica: línea de control de la válvula piloto	11657.16	13114.31
Válvula de dirección	0.00	0.00
Válvula EPC	1041.56	130.20
Bomba hidráulica Nro.1	0.00	0.00
Bomba hidráulica Nro.2	0.00	0.00
Válvula de control	0.00	0.00
Tuberías de válvula de dirección de emergencia	3080.05	1925.03
Línea alta y baja del cilindro de levante	6145.65	2304.62
Pines	11559.00	1652.94
Cilindros de levante y volteo	8288.33	1185.23
Bomba del freno de servicio	1330.03	190.19
Freno de parqueo	9314.59	1331.99
Línea de pilotaje de filtro PPC	406.67	58.15

CUADRO N° 21
TIEMPOS MEDIOS DE REPARACIÓN PARA LOS SUBSISTEMAS

Ítem	Subsistema	MTTR (hrs.)
1	Válvula de dirección de emergencia	10
2	Línea de dirección hidráulica: línea de control de la válvula piloto	2
3	Válvula de dirección	2
4	Válvula EPC	5
5	Bomba hidráulica Nro.1	15
6	Bomba hidráulica Nro.2	15
7	Válvula de control	15
8	Tuberías de válvula de dirección de emergencia	4
9	Línea alta y baja del cilindro de levante	6
10	Pines	150
11	Cilindros de levante y volteo	64
12	Bomba del freno de servicio	43
13	Freno de parqueo	35
14	Línea de pilotaje de filtro PPC	29



DIBUJO N° 9

MTTR EN LOS SUBSISTEMAS (GRAFICO RADIAL)

La grafica radial nos permite obtener el tiempo promedio para restaurar la operatividad del equipo de acuerdo al tiempo total de fallas y la cantidad de las mismas y se calcula de acuerdo a la siguiente formula

$$\text{MTTR} = \frac{\text{tiempo total de fallas}}{\text{cantidad de fallas}}$$

Ejemplo: Calculo de MTTR para la válvula de dirección de emergencias

Se tuvo 4 fallas en un periodo de 2 meses con un tiempo total de reparación de 40 hrs.

$$\text{MTTR} = 40 / 4$$

$$\text{MTTR} = 10$$

CUADRO N° 22
COSTOS DE INTERVENCIÓN A LOS SUBSISTEMAS

Ítem	Subsistema	MTRR	H-H	Costo Promedio (US\$/Pedido)	Costo Intervención
1	Válvula de dirección de emergencia	10.00	13.50	71.68	206.68
2	Línea de control de la válvula piloto	2.00	13.50	13114.31	13141.31
3	Válvula de dirección	2.00	13.50	0.00	27.00
4	Válvula EPC	5.00	13.50	130.20	197.70
5	Bomba hidráulica Nro.1	15.00	13.50	0.00	202.50
6	Bomba hidráulica Nro.2	15.00	13.50	0.00	202.50
7	Válvula de control	15.00	13.50	0.00	202.50
8	Tuberías de válvula de dirección de emergencia	4.00	13.50	1925.03	1979.03
9	Línea alta y baja del cilindro de levante	6.00	13.50	2304.62	2385.62
10	Pines	150.00	13.50	1652.94	3677.94
11	Cilindros de levante y volteo	64.00	13.50	1185.23	2049.23
12	Bomba del freno de servicio	43.00	13.50	190.19	770.69
13	Freno de parqueo	35.00	13.50	1331.99	1804.49
14	Línea de pilotaje de filtro PPC	29.00	13.50	58.15	449.65

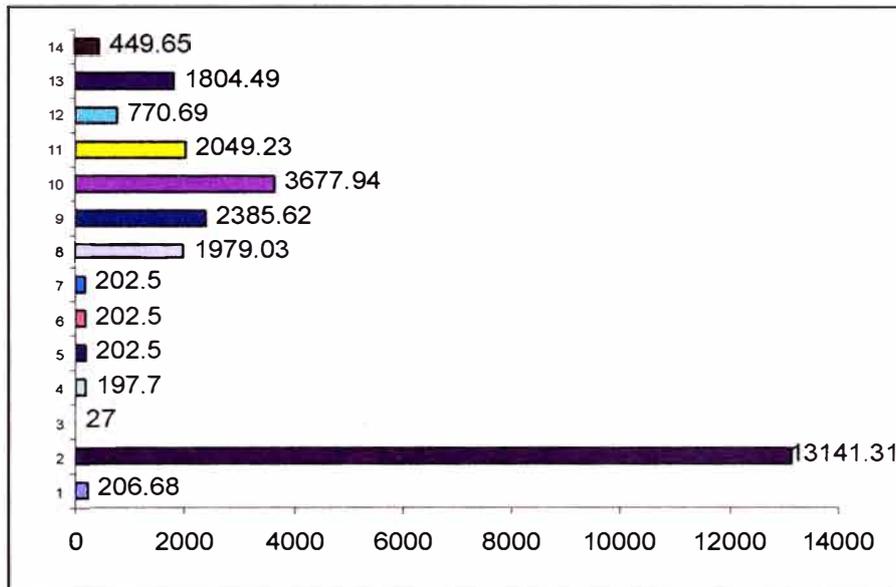


GRAFICO N° 10
COSTO DE INTERVENCIÓN DEL LOS SUBSISTEMAS

Costo de falla

El costo de falla tiene asociado el costo por parada de la producción, cuando el cargador WA1200 falla, su labor la cumple el cargador CAT994

$$\text{Costo de Falla} = \text{MTTR} * \text{Gasto por Hora Parada de Producción}$$

En función al reporte de costos para el año 2009

CUADRO N° 23
COSTOS DE INTERVENCIÓN A LOS SUBSISTEMAS 2

Equipo	Horas Operativas	Costo MO	Costo Materiales	Costo Total	Gasto por hora de parada de producción US\$/Hr
C06	2,592.50	86,190.64	1,161,003.34	1,247,193.981	481.0777168
C07	3,156.00	114,742.39	1,588,500.68	1,703,243.075	539.6841175
Promedio WA1200	2874.25	100466.518	1374752.01	1,475,218.528	510.3809172

CUADRO N° 24
COSTOS DE FALLA

Ítem	Subsistema	Gasto promedio por hora parada de producción US\$/Hr	MTTR	Costo de Falla US\$
1	Válvula de dirección de emergencia	510.38	10.00	5103.80
2	Línea de dirección hidráulica: línea de control de la válvula piloto	510.38	2.00	1020.76
3	Válvula de dirección	510.38	2.00	1020.76
4	Válvula EPC	510.38	5.00	2551.90
5	Bomba hidráulica Nro.1	510.38	15.00	7655.70
6	Bomba hidráulica Nro.2	510.38	15.00	7655.70
7	Válvula de control	510.38	15.00	7655.70
8	Tuberías de válvula de dirección de emergencia	510.38	4.00	2041.52
9	Línea alta y baja del cilindro de levante	510.38	6.00	3062.28
10	Pines	510.38	150.00	76557.00
11	Cilindros de levante y volteo	510.38	64.00	32664.32
12	Bomba del freno de servicio	510.38	43.00	21946.34
13	Freno de parqueo	510.38	35.00	17863.30
14	Línea de pilotaje de filtro PPC	510.38	29.00	14801.02

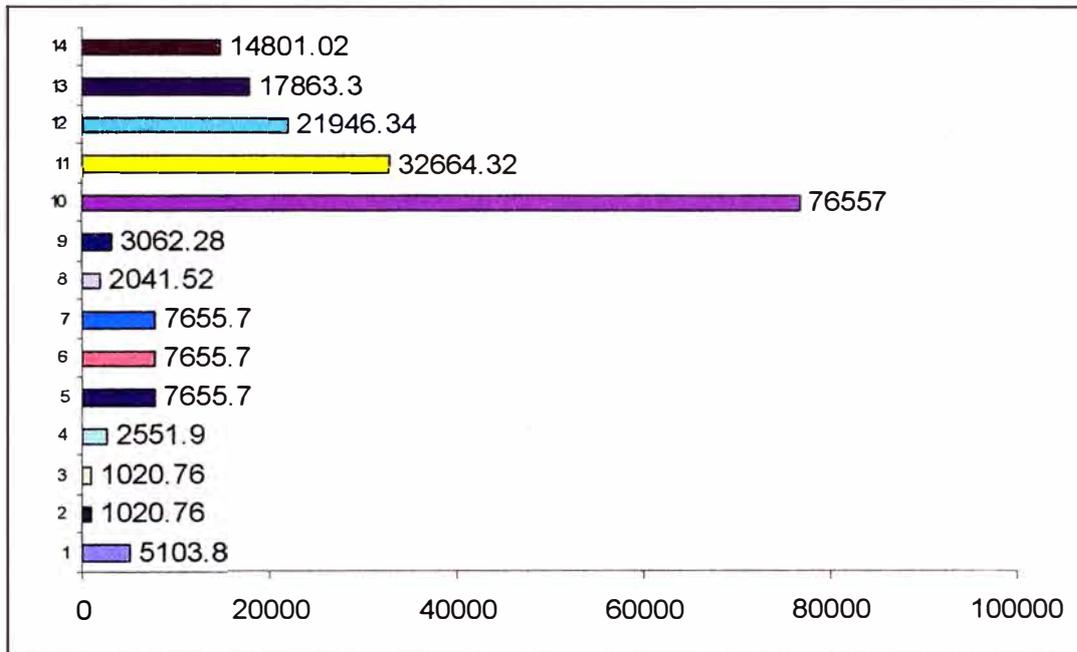


GRAFICO N° 11

COSTOS DE FALLA

4.2 Observaciones

La información con la que se elaboro ese estudio tiene diversos orígenes, reportes de dispatch, registro de ordenes de trabajo generadas, seguimiento de requisiciones y otros informes. Con diversos orígenes de la información existe la posibilidad de que se aumente la variabilidad de este resultado con respecto a cifras reales.

Utilizando la formula inicial:

$$\text{Costo Total} = \text{Costo de falla} + \text{Costo de intervención}$$

**CUADRO N° 25
COSTOS TOTALES**

Ítem	Subsistema	Costo de intervención (US\$)	Costo de falla (US\$)	Costo total
1	Válvula de dirección de emergencia	206.68	5103.80	5310.48
2	Línea de dirección hidráulica: línea de control de la válvula piloto	13141.31	1020.76	14162.07
3	Válvula de dirección	27.00	1020.76	1047.76
4	Válvula EPC	197.70	2551.90	2749.60
5	Bomba hidráulica Nro.1	202.50	7655.70	7858.20
6	Bomba hidráulica Nro.2	202.50	7655.70	7858.20
7	Válvula de control	202.50	7655.70	7858.20
8	Tuberías de válvula de dirección de emergencia	1979.03	2041.52	4020.55
9	Línea alta y baja del cilindro de levante	2385.62	3062.28	5447.90
10	Pines	3677.94	76557.00	80234.94
11	Cilindros de levante y volteo	2049.23	32664.32	34713.55
12	Bomba del freno de servicio	770.69	21946.34	22717.03
13	Freno de parqueo	1804.49	17863.30	19667.79
14	Línea de pilotaje de filtro PPC	449.65	14801.02	15250.67

Fuente: Elaboración propia

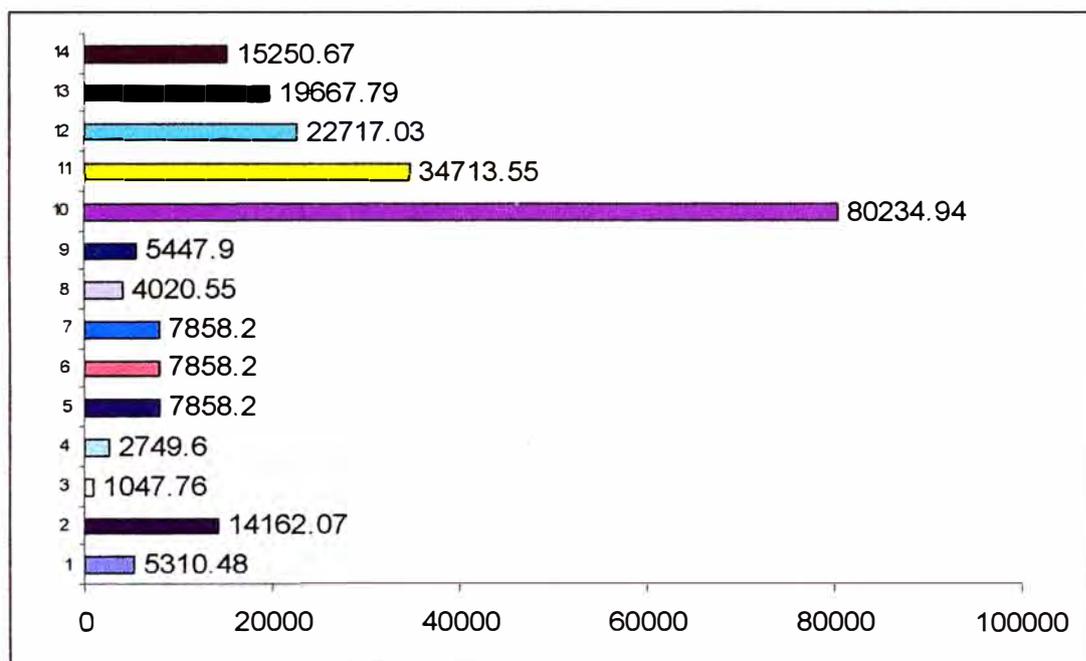


GRAFICO N° 12
COSTOS TOTALES

CAPITULO V

5 BENEFICIOS DE IMPLEMENTACIÓN DE RCM EN LOS CARGADORES KOMATSU WA1200

Impacto en la producción

5.1 Disponibilidad:

Se tiene que el beneficio en la producción es el esperado, este impacto se muestra en la grafica siguiente:

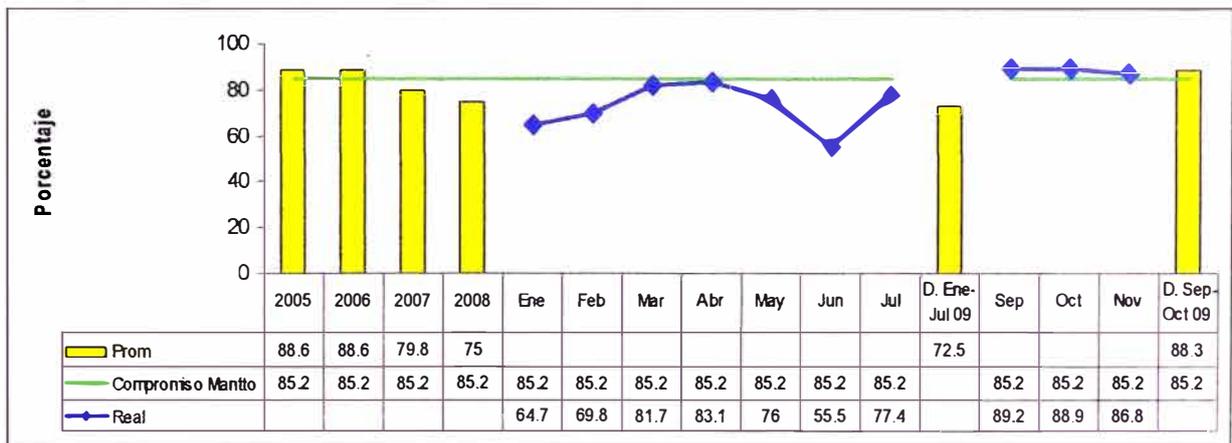


GRAFICO N° 13
GRAFICA DE DISPONIBILIDAD AÑO 2009

Como puede apreciarse la disponibilidad aumento en 13 puntos porcentuales aproximadamente

5.2 Confiabilidad:

Es el tiempo promedio que un equipo cumple su función sin interrupción debido a una falla funcional, se obtiene dividiendo el tiempo total de operación entre el numero total de paradas por fallas

$$\text{MTBF} = \frac{\text{tiempo total de operación}}{\text{cantidad total de fallas}}$$

Se tiene que el beneficio en la producción es el esperado, este impacto se muestra en el cuadro N° 27

CUADRO N° 26
EVOLUCIÓN DE LA CONFIABILIDAD PARA EL
ULTIMO PERIODO

Equipo	2007	2008	2009 (hasta el 31 de agosto)	2009 (entre el 1ero de septiembre 1 el 30 de noviembre)
CK06	79.37%	73.01%	75.83%	86.74%
CK07	89.84%	88.37%	85.15%	89.43%

CONCLUSIONES

Luego de un análisis de las fallas del cargador se ha determinado que la falla mas critica de este equipo se daba en las mangueras hidráulicas.

1. La causa principal de estas fallas se debió al uso de mangueras que no eran originales, además estas eran mal montadas lo que ocasionaba un rozamiento excesivo entre las mismas
2. La medida correctiva que soluciono este problema fue la tercerización de la fabricación y cambio de mangueras a cargo de la empresa Talleres Hidráulicos, donde se estableció un stock de repuestos, un programa de inspección y estándares de los materiales a utilizar en las mangueras.
3. La inversión en la solución de este problema ha sido elevada, sin embargo los resultados de la implementación de esta solución han ido surgiendo gradualmente hasta alcanzar resultados satisfactorios en cuanto a disponibilidad del equipo mostrados en el grafico 13
4. La tercerización en fabricación de mangueras por la empresa "TALLERES HIDRAULICOS" trajo consigo mejoras y ahorros en tiempo y dinero, cabe resaltar que comparado con la compra de mangueras originales se logro un ahorro de 15 días aprox., en el tiempo de entrega.
5. Se concluye que una de las razones por las que falla el sistema hidráulico se debe al aceite suministrado por el proveedor, el cual no cuenta con la pureza adecuado debido a los altos contenidos de silicio, el cual provoca un desgaste prematuro de los componentes.

RECOMENDACIONES

1. La labor de mejora en la confiabilidad y disponibilidad del equipo debe ser continua, ahora se debe de actualizar el estudio y encontrar los nuevos puntos críticos a analizar. Se recomienda actualizar los estudios de RCM periódicamente.
2. El estudio puede servir de marco referencial para nuevos estudios de RCM en la empresa, inclusive en base a esto podría de confeccionarse una macro basada en los cuadros mostrados para agilizar el proceso del estudio.
3. Las medidas correctivas planteadas en el presente estudio son relativamente sencillas de implementar y a un costo razonable en función a los beneficios brindados, por lo que se recomienda aplicar estas medidas en otros sites de la empresa
4. Se recomienda para la reparación de los componentes del sistema hidráulico (cilindros, bombas, válvulas y demás) usar sellos originales.
5. El personal encargado del mantenimiento de los sistemas hidráulicos deben asegurarse que el aceite a utilizar no se contamine ya que ello trae como consecuencia la contaminación del sistema así como el desgaste prematuro de los componentes del sistema.

BIBLIOGRAFIA

- 1** Mantenimiento centrado en la confiabilidad
Autor: John Moubray
- 2** M3-IS-2865 Mantenimiento centrado en confiabilidad piloto para una empresa minera
Autor: Jiménez Chacon, Richard Johnny
- 3** Manual de taller Komatsu Loader WA1200-3
Autor: Komatsu derechos reservados
- 4** Komatsu: repuestos críticos en faena
Autor: Julio C. Astudillo (santiago Chile)
- 5** Reliability Centred Maintenance Guide
Autor: Diego García Moreno
- 6** <http://www.tpmonline.com/>
- 7** <http://www.amtce.com.mx>
- 8** <http://www.mantenimiento/mundial>
- 9** Ingeniería de mantenimiento. Técnicas y métodos de aplicación a la fase operativa de los equipos
Autor: Sánchez Herguedas, Antonio; Moreu de León, Pedro; Crespo Márquez, Adolfo
- 10** Ingeniería de Confiabilidad; Pilar Fundamental del Mantenimiento
Autor: Medardo Yáñez

ANEXOS

Test del sistema hidráulico

TEST PM04

SISTEMA		PARAMETROS	ESPECIFICACIONES		VALOR MEDIDO	VALOR MEDIDO	VALOR MEDIDO	VALOR PROMEDIO	OBSERVACIONES
SISTEMA HIDRAULICO	T° aceite hidráulico				44				
	Presión de bomba de control	(Temperatura de aceite hidráulico 45-55°C, Alta Vacío)	2.94	+0.98 Mpa - 0 Mpa	2.94	+1.47 Mpa - 0.49 Mpa			
	Presión de alivio		31.36	+0.98 Mpa - 0.29 Mpa	31.36	+0.98 Mpa - 1.27 Mpa			
	PPC Presión de Bomba	(Temperatura de aceite hidráulico 45-55°C, Alta Vacío)	3.72	+0.98 Mpa - 0 Mpa	3.72	+1.47 Mpa - 0.49 Mpa			
	Presión principal de la válvula PPC		3.72	+0.2 Mpa - 0 Mpa	3.72 +/- 0.2 Mpa				
	Presión de salida de la válvula PPC (Temperatura de aceite hidráulico 45-55°C, Alta Vacío, moviendo los controles de implementos)	Posición del brazo de levante (levantando/Retirando) Posición del cucharón (recargando y botando)	3.72	+0.2 Mpa - 0 Mpa	3.72 +/- 0.2 Mpa				
	Presión del acumulador PPC	Bajando el brazo de levante	2.54 +/- 0.05 Mpa	2.54 +/- 0.05 Mpa					
		Min. actuation pressure	1.8 Mpa	1.8 Mpa					
		Max. Actuation pressure	2.8 Mpa	2.8 Mpa					
		Prueba del acumulador PPC	Parar el equipo en un terreno nivelado, levantar el cucharón hasta la máxima altura y colocar la palanca de levante en la posición hold mantener el equipo en esta posición y apagar el motor, verificar los alrededores del equipo por seguridad y colocar la palanca en la posición Float para bajar el cucharón a 1m del piso. Cuando el cucharón se encuentra a 1m del piso colocar la palanca de levante en la posición lower y bajar el cucharón lentamente al piso, si durante la operación el cucharón se desliza es síntoma de que la presión en el acumulador es muy baja menor a 0.88 Mpa						
	Velocidad de levante	(Temperatura de aceite hidráulico 45-55°C, Alta Vacío, sin carga)	12.5 +/- 0.5 sec	Max 14 sec					
	Velocidad de bajada		5.0 +/- 0.5 sec	Max 7 sec					
	Velocidad de volteo del cucharón	Totalmente levantado el brazo de levante, Temperatura de aceite hidráulico 45-55°C, Alta Vacío, sin carga	3.7 +/- 0.3 sec	Max 5 sec					
SISTEMA HIDRAULICO	Velocidad de volteo del cucharón	Brazo de levante a nivel del piso (Temperatura de aceite hidráulico 45-55°C, Alta Vacío, sin carga)	2.3 +/- 0.3 sec	Max 3.4 sec					
	Fuga hidráulica (Temperatura de aceite hidráulico 45-55°C, motor apagado, sin carga colocar el brazo de levante a media altura)	Hydraulic drift of bucket hinge pin	Max 250 mm	Max 250 mm					
		Hydraulic drift of bucket tooth edge	Max 100 mm	Max 100 mm					
	Presión de alivio SPT PLUMP PRESSURE	(Temperatura de aceite hidráulico 45-55°C, Alta Vacío)	31.36	+0.98 Mpa - 0.29 Mpa	31.36	+0.98 Mpa - 0.29 Mpa	44		
	Presión de salida del orbit Roll	(Temperatura de aceite hidráulico 45-55°C, Alta Vacío)	3.72	+0.98 Mpa - 0.29 Mpa	3.72	+0.98 Mpa - 0.29 Mpa			
	Tiempo de giro de la dirección Right lock (Left lock) to Left lock (Right lock)	Motor en baja vacío	Max. 8.5 s	Max. 7.5 s					
		Motor en Alta vacío	Max. 6.8 s	Max. 6.5 s					

Realizado Por: _____

Supervisor: _____

Solicitud para la creación y actualización de ítems de inventario



Request for Create/Update Inventory Items

South America Region

Create

 Update

Mine (*)	Pierina		
Req N° (*)	ant	Department	MANTENIMIENTO MINA
Date prepared:	01-10-2009	ANDERSON MALDONADO	
Date Received:	Hour: 12:02:00 AM	Received by:	

Legend:

To be created by Final user

To be created/updated by Warehouse Supervisor
To be updated by Warehouse/Cataloguer

[*] Mandatory

[*] Mandatory when equipment is indicated

Seq. (*)	Item Code (to update Item) (*)	Part Number (*)	Description (*)	Manufacturer (*)	Equipment (*)	Category (based on Inv. Category)	UNSPSC Code (*)	UOM (*)	Item Class (based on account, Pol.)	Critical classification	Item Lead (reference)	Country of Origin	Suggested Supplier (*)	Weight (kg)	Pol. L. & R. H. (L/R)	Dangerous Material	Consumption per year estimated (*)	Min (stock level)	Max (stock level)	Total Value (Item Cost x Max Stock)	Expense Account (used for add and substitution, Pol.)	Comments/Additional info
1	02AK101126	42C41519	VALVULA DE DIRECCION RH	KOMATSU	WA120			Unidad	Reparable	High						No		1	2	0	08-9034284	ACTUAR ITEM EN PIERINA
2	02AK101127	42C41520	VALVULA DE DIRECCION LH	KOMATSU	WA120			Unidad	Reparable	High						No		1	2	0	08-9034284	ACTUAR ITEM EN PIERINA
3	02AK101092	70522200	PUMP ASSY (BOMBA PPC)	KOMATSU	WA120			Unidad	Reparable	High						No		1	2	0	08-9034284	ACTUAR ITEM EN PIERINA
4	02AK101043	70432300	PUMP ASSY BOMBA DE EMERGENCIA DE DIRECCION	KOMATSU	WA120			Unidad	Reparable	High						No		1	2	0	08-9034284	ACTUAR ITEM EN PIERINA
5	02AK100529	3635108	HOSE DE ALIMENTACION DE TURBO	KOMATSU	WA120			Unidad	Consumable	Medium						No		1	2	0	08-9034250	ACTUAR ITEM EN PIERINA
6	02AK100590	42C151500	CUERPO DE VALVULA (VALVULA DE DIRECCION)	KOMATSU	WA120			Unidad	Reparable	High						No		1	2	0	08-9034284	ACTUAR ITEM EN PIERINA
7	02AK100732	4200105	BELLOWS ADHNSION	KOMATSU	WA120			Unidad	Consumable	Medium						No		2	4	0	08-9034250	ACTUAR ITEM EN PIERINA
8	02AK100731	4200104	BELLOWS ESCAPE	KOMATSU	WA120			Unidad	Consumable	Medium						No		4	8	0	08-9034250	ACTUAR ITEM EN PIERINA
9	02AK101131	2636816	APRANCADOR	KOMATSU	WA120			Unidad	Consumable	Medium						No		1	2	0	08-9034250	ACTUAR ITEM NUEVO
10	02AK101130	4042305	ENPAQUETAGURA	KOMATSU	WA120			Unidad	Consumable	Medium						No		2	4	0	08-9034250	CREAR ITEM
11	02AK101131	42C415411	VALVULA DE FRENO DE SERVICIO	KOMATSU	WA120			Unidad	Consumable	Medium						No		1	2	0	08-9034250	CREAR ITEM
12	02AK101131	42C417000	VALVULA DE EMERGENCIA DE FRENO DE PARQUE	KOMATSU	WA120			Unidad	Consumable	Medium						No		1	2	0	08-9034250	CREAR ITEM
13																						
14																						
15																						
16																						
17																						

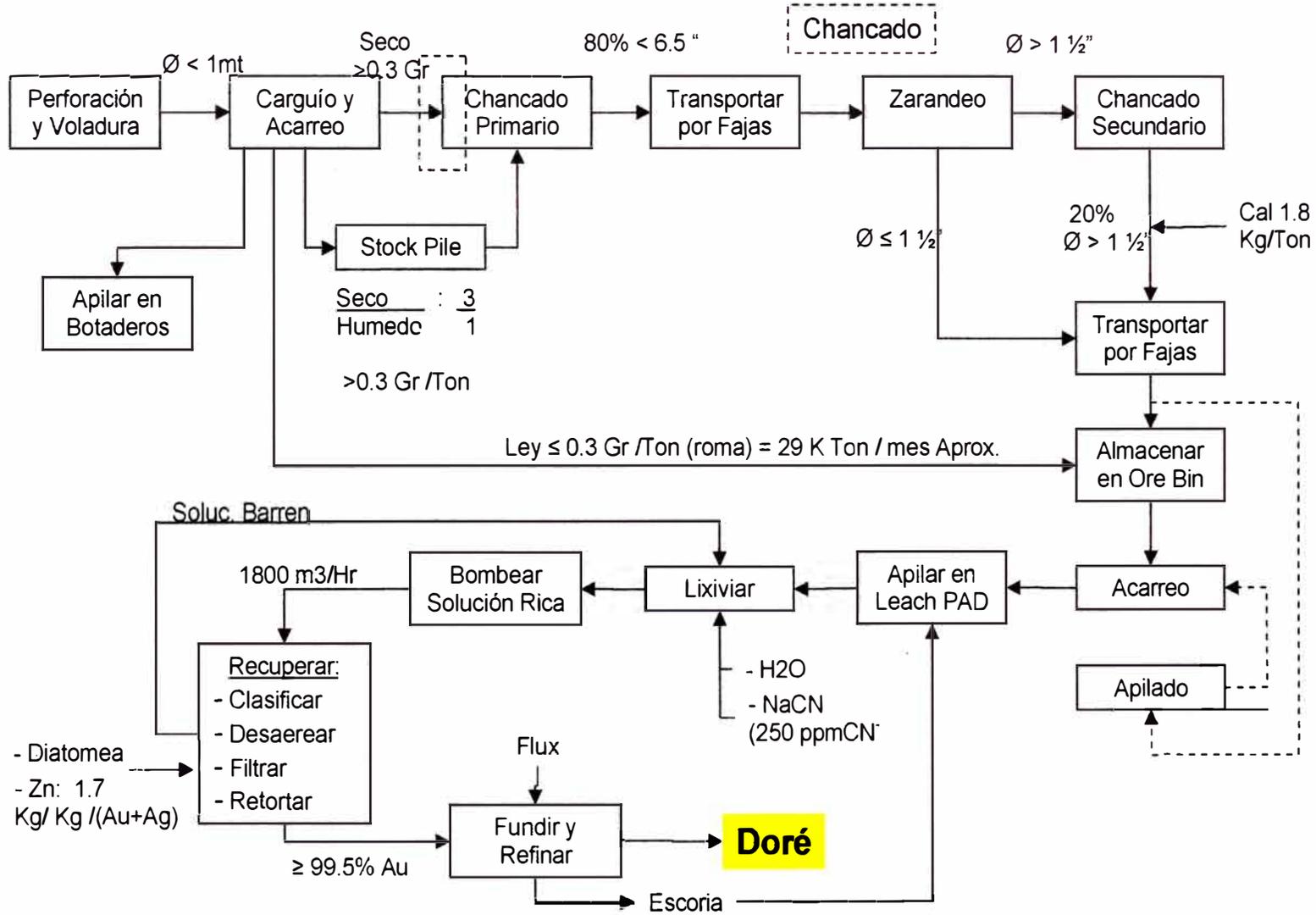
Approvals

Position	Name	Signature	Date
Requestor			
Supervisor			
Warehouse Chief			
Supply Chain Chief			

Total Cost to introduce: 0

Fuente: Área de planeamiento

ANEXO 2



Contenido del Kit de O-rings

Según el reporte de las requisiciones generadas el ultimo año y medio

KIT DE O-RINGS KOMATSU

Ítem	Código Link One	Total de requisiciones
1	700222034	50
2	07000F3048	40
3	700221423	30
4	700222434	25
5	700012065	20
6	700012075	20
7	07000F2060	20
8	07000F3032	20
9	700012130	10
10	700015160	10
11	700015200	10
12	700224234	10
13	4156211560	10
14	07000E2125	10
15	07000F2010	10
16	07000F2105	10
17	07000F3030	10
18	07000F3038	10
19	5621519970	10
20	700013048	10
21	700012085	5

Ítem	Código Link One	Total de requisiciones
22	700013032	5
23	700015220	5
24	700015275	5
25	700215234	5
26	700225234	5
27	7051702360	5
28	07000E2011	5
29	07000E3048	5
30	07000F1009	5
31	07000F2011	5
32	07000F3035	5
33	42C0112670	5
34	42C0413650	5
35	700015220	5
36	700072018	5
37	700002080	5

ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES UTILIZADOS PARA LAS MANGUERAS

Los materiales utilizados por talleres hidráulicos para fabricar las mangueras:

Materiales y números de parte utilizados por talleres hidráulicos

Ítem	Nº PARTE	Descripción
1	07298-0106	Equator/2 1"x1.64mt con brida recta y 90°
2	07086-00406	Eternity/2 1/2"x0.63mt con conexiones KOMATSU
3	07086-00504	Eternity/1 5/8"x0.47mt con acople KOMATSU
4	07102-00606	Rock/12 3/4"X0.69mt con conexiones KOMATSU
5	07102-20306	Eternity/2 40028x0.68mt con acople KOMATSU
6	07102-20404	Eternity/2 1/2"x0.46mt con acople KOMATSU
7	07102-20405	Eternity/2 1/2"x0.56mt con acople KOMATSU
8	07102-20406	Eternity/2 1/2"x0.68mt con acople KOMATSU
9	07102-20422	Eternity/2 1/2"x2.25mt con conexiones KOMATSU
10	07102-20504	Eternity/2 5/8"x0.46mt con acople KOMATSU
11	07102-20505	Eternity/2 5/8"X0.56mt con conexiones KOMATSU
12	07102-20506	Eternity/2 40030x0.72mt con acople KOMATSU
13	07102-20512	Eternity/2 5/8"x1.25mt con conexiones KOMATSU
14	07102-20514	Eternity/2 5/8"x1.45mt con conexiones KOMATSU
15	07102-20605	Eternity/2 3/4"x0.57mt con acople KOMATSU
16	07102-21420	Equator/1 1.1/2"x2.16mt con acople KOMATSU
17	07102-21429	Equator/1 1.1/2"x3.50mt con acople KOMATSU
18	07122-02014	Rock/12 1.43mtconbrida recta y 90°
19	07296-01012	Xtraflex/4000 1"x1.22mt con bridas rectas
20	07297-01413	Rock/2sn 1.1/2"x1.35mt con brida recta y 45°

21	07297-01415	Rock/2sn 1.1/2"x1.47mt con brida recta y 45°
22	07297-01423	Rock/2sn 1.1/2"x2.40mt con brida recta y 45°
23	729701426	R/2sn 1.1/2"X2.66mt con brida recta y 45°
24	07297-02017	Equator/1 2"x1.70mt con brida recta y 45°
25	07297-02018	Rock/2sn 2"x1.82mt con brida recta y 45°
26	07297-02060	Equator/1 2"x6.05mt con brida recta y 45°
27	07297-41210	Equator/2 1.1/4"x0.98mt con brida recta y 45°
28	729801209	R/12 1.1/4"X0.93mt con brida recta y 90°
29	07623-00609	Eternity/2 39906x0.98mt con acople KOMATSU
30	07102-202A4	Eternity/2 1/4"X0.48mt con conexiones KOMATSU
31	42C-62-11460	Diamond 2"x2.31mt con brida xtl. Recto y 90°
32	42C-62-11711	Rock/15 1.1/4"x1.47mt con brida recta y 45°
33	42C-62-11750	Rock/15 1"x1.42mt con brida recta y 90°
34	42C-62-11770	Rock/15 1.1/4"X1.40mt con brida recta y 90°
35	42C-62-11800	Rock/15 1.1/2"x1.52mt con brida rectas
36	42C-62-11832	Rock/15 1.1/2"x1.32mt con brida rectas
37	42C-62-11860	Diamond 1.1/2"x1.71mt con brida recta y 45°
38	42C-62-11871	Rock/15 1.1/2"x1.03mt con brida recta y 90°
39	42C-62-11881	Rock/13 2"x1.57mt con brida recta y 90°
40	42C-62-11890	Diamond 2"x2.41mt con brida xtl. Recto y 90°
41	42C-62-11950	Rock/15 1.1/4"x1.54mt con brida recta y 90°
42	42C-62-12360	Rock/15 1"x1.34mt con brida recta y 90°
43	42c-62-13800	Rock/15 1.1/4"x1.60mt con bridas de 45°

Las especificaciones de los materiales especiales utilizados se presentan a continuación, estos datos fueron obtenidos en consulta directa con talleres hidráulicos.

GLOSARIO

MTTR.- Abreviatura para la media de tiempo de recuperación o de reparación de media hora de lo que representa el promedio de tiempo necesario para poner un componente defectuoso o sistema en funcionamiento. Es una medida de la mantenibilidad de un sistema y predice la cantidad media de tiempo necesario para obtener el sistema a trabajar de nuevo en caso de un fallo del sistema.

RCM.- Es una técnica generalmente usada para alcanzar mejoras en diversos campos como por ejemplo en los cuales se establece niveles mínimos de mantenimiento, cambios en las estrategias y procesos operativos y el establecimiento de regimenes y planes de capital para mantenimiento. La implementación exitosa del RCM conducirá a incrementar la efectividad de los costos, disponibilidad de la maquina y un mayor entendimiento del nivel de riesgo que la organización actualmente administra

MANTENIMIENTO PREVENTIVO.- Es una actividad programada de inspecciones, tanto de funcionamiento como de seguridad, ajustes, reparaciones, análisis, limpieza, lubricación, calibración, que deben llevarse a cabo en forma periódica en base a un plan establecido. El propósito es prever averías o desperfectos en su estado inicial y corregirlas para mantener la instalación en completa operación a los niveles y eficiencia óptimos.