

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE
INGENIERÍA EN ENERGÍA



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

**"INFLUENCIA DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO
EN LOS INDICADORES ENERGÉTICOS DE LA FLOTA DE
MAQUINARIA PESADA EN LA EMPRESA MINERA
SULLIDEN SHAHUINDO SAC."**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO EN ENERGÍA**

AUTOR:

Bach. JHONATAN JOSE CERVERA MUTO

ASESOR:

Mg. ROBERT FABIÁN GUEVARA CHINCHAYÁN

NUEVO CHIMBOTE, AGOSTO DEL 2015

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA EN ENERGIA**



**“INFLUENCIA DE UN PROGRAMA DE
MANTENIMIENTO EN LOS INDICADORES
ENERGETICOS DE LA FLOTA DE MAQUINARIA
PESADA EN LA EMPRESA MINERA SULLIDEN
SHAHUINDO SAC.”**

Tesis para Optar el Título de Ingeniero en Energía

AUTOR :
JHONATAN JOSE CERVERA MUTO

ASESOR :
MG. ROBERT FABIÁN GUEVARA CHINCHAYÁN

NUEVO CHIMBOTE, AGOSTO DEL 2015



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

HOJA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR

El presente proyecto de investigación de Tesis titulado "INFLUENCIA DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO EN LOS INDICADORES ENERGÉTICOS DE LA FLOTA DE MAQUINARIA PESADA EN LA EMPRESA MINERA SULLIDEN SHAHUINDO SAC." Elaborado por el bachiller: JHONATAN JOSE CERVERA MUTO, para optar el título profesional de Ingeniero en Energía. Ha contado con el asesoramiento de quien deja constancia de su aprobación. Por tal motivo, firma el presente trabajo en calidad de Asesor.

Mg. ROBERTO FABIÁN GUEVARA CHINCHAYÁN
ASESOR



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

HOJA DE CONFORMIDAD DEL JURADO EVALUADOR

El presente proyecto de investigación de Tesis titulado **“INFLUENCIA DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO EN LOS INDICADORES ENERGÉTICOS DE LA FLOTA DE MAQUINARIA PESADA EN LA EMPRESA MINERA SULLIDEN SHAHUINDO SAC.”**, para optar el título profesional de Ingeniero en Energía.

Revisado y Aprobado por el siguiente Jurado Evaluador

Mg. ANTENOR MARINOS CASTILLO
PRESIDENTE

Mg. ROBERT F. GUEVARA CHINCHAYAN
SECRETARIO

Ing. NELVER J. ESCALANTE ESPINOZA
INTEGRANTE



“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

A los nueve días del mes de noviembre del año dos mil dieciocho, siendo las tres horas de la tarde, se instaló en el Auditorio de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería en Energía, el Jurado Evaluador designado mediante Resolución N° 260-2015-UNS-CFI, integrado por los siguientes docentes:

- **Mg. ANTENOR MARIÑOS CASTILLO** : PRESIDENTE
- **Ing. RUSBER ALBERTO RISCO OJEDA** : INTEGRANTE
- **Mg. ROBERT FABIAN GUEVARA CHINCHAYAN** : INTEGRANTE
- **Ing. NELVER JAVIER ESCALANTE ESPINOZA** : ACCESITARIO

Para dar inicio a la sustentación y evaluación de la Tesis titulada: **“INFLUENCIA DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO EN LOS INDICADORES ENERGÉTICOS DE LA FLOTA DE MAQUINARIA PESADA EN LA EMPRESA MINERA SULLIDEN SHAHUINDO SAC”**, elaborada por el Bachiller de Ingeniería en Energía: **JHONATAN JOSÉ CERVERA MUTO**, teniendo como asesor al docente **Mg. ROBERT FABIAN GUEVARA CHINCHAYÁN**.

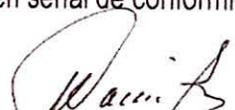
Asimismo, el Sr. Presidente informa que mediante Resolución N° 409-2018-CU-R-UNS el Ing. Rusber Alberto Risco Ojeda esta de Licencia con Goce de Haber por Estudios de Maestría desde el 04 de junio hasta el 31 de marzo del 2019, por lo tanto el **Ing. Nelver Javier Escalante Espinoza**, formará parte como **Integrante** en reemplazo del docente antes mencionado.

Terminada la sustentación el estudiante, respondió las preguntas formuladas por los miembros del jurado y el público presente.

El Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes, en concordancia con los artículos 39° y 40° del Reglamento General para Obtener el Grado Académico de Bachiller y Título Profesional de la Universidad Nacional del Santa, declara:

BACHILLER	PROMEDIO	PONDERACIÓN
JHONATAN JOSÉ CERVERA MUTO	BUENO	DIECIOCHO (18)

Siendo las cuatro horas del mismo día, se da por terminado el acto de sustentación, firmando los integrantes del jurado en señal de conformidad.


Mg. Antenor Mariños Castillo
PRESIDENTE


Mg. Robert F. Guevara CHINCHAYAN
SECRETARIO


Ing. Nelver J. Escalante Espinoza
INTEGRANTE

DEDICATORIA: JHONATAN CERVERA MUTO

*Con mucho cariño para mis Padres
por el amor y cariño
desvelos , trabajo y sacrificio
de todos los días y su*

*A Dios , nuestro creador
por su apoyo infinito y por ser nuestro guía
En nuestra carrera profesional
y por ser la luz en nuestra vida.*

RECONOCIMIENTO

*A nuestra promoción 2009
Mis grandes amigos
Que me acompañaron en esas
Noches de desvelo por
Aprender
Gracias amigos.*

*A los Profesores de la
EAP de Ingeniería en Energía
Y a mi Asesor Mg Robert Guevara
Al Mg Antenor Mariños y Mg Gilmer Lujan
Por sus sabias enseñanzas*

JHONATAN CERVERA MUTO

INDICE

INDICE

RESUMEN

ABSTRACT

CAPITULO I: INTRODUCCION	1
1.1 Realidad Problemática	2
1.2 Antecedentes	3
1.3 Descripción del lugar donde se ha realizado el estudio	5
1.4 Justificación	7
1.5 Hipótesis	7
1.6 Objetivos	8
CAPITULO II: MARCO TEORICO	9
2.1 Mantenimiento	10
2.2 Tipos y Evaluación de Mantenimiento	15
2.3 Gestión de un programa de mantenimiento	32
2.4 Análisis Energético	47
2.5 Maquinaria Pesada de Minería para movimiento de terreno	49
2.6 Costos de Mantenimiento y Energía	61
CAPITULO III: MATERIALES Y METODOS	66
3.1 Materiales	67
3.2 Método de Investigación	74
CAPITULO IV: CALCULOS Y DISCUSION DE RESULTADOS	77
4.1 Evaluación del estado de indicadores de excavadores 422D-Periodo Inicial	78

4.2	Evaluación del estado de indicadores de camiones volquete-Periodo Inicial	95
4.3	Aplicación del Programa de Mantenimiento	111
4.4	Evaluación del estado de indicadores de excavadores 422D-Periodo Final	122
4.5	Evaluación del estado de indicadores de camiones volquete-Periodo Final	138
4.6	Discusión de resultados	154
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	167
	Conclusiones	168
	Recomendaciones	170
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	171
	ANEXOS	176

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1 : Ubicación geográfica Minera SULLIDEN SHAHUINDO SAC	6
Figura N° 2 El mantenimiento como un sistema abierto.	10
Figura N° 3 Vida útil después de varios overhaul	15
Figura N° 4 Evolución de la condición del equipo	19
Figura N° 5 Comportamiento de la viscosidad de aceite en MCI	21
Figura N° 6 Evolución de la tasa de fallas “Curva de bañera”	23
Figura N° 7 Tipos de fallas	24
Figura N° 8 Categorías de la conservación de los modos de falla	25
Figura N° 9 Hoja de decisión para la categorización de las consecuencias de modo de falla	26
Figura N° 10 Ciclo Deming para la mejora continua	28
Figura N° 11 Cronograma de Mantenimiento	36
Figura N° 12 Programación por periodicidad del mantenimiento	37
Figura N° 12-A Hoja de vida de un máquina de movimiento	38
Figura N° 13 Orden de trabajo de mantenimiento	39
Figura N° 14 Organigrama del área de mantenimiento	43
Figura N° 15 Reporte de fallas	46
Figura N° 15 Diagrama de Pareto de fallas imprevistas	47
Figura N° 16 Amplitud de trabajo de excavadora 322D	50
Figura N° 17 Sistema de transmisión mecánica de retroexcavadora	51
Figura N° 18 Sistema motriz de excavadora 322D	52
Figura N° 19 Sistema hidráulico y controlador de cargador	53
Figura N° 20 Componentes de maniobra de retroexcavadora	55
Figura N° 21 Camión volquete CAT 740	56
Figura N° 22 MCI de Camión volquete CAT 777G ACER de 12 Cilindros en V	58
Figura N° 23 Bastidor de camión volquete CAT 740	59
Figura N° 24 Sistema de transmisión camión volquete CAT 740	60
Figura N°25 Excavadora 322D CAT	70
Figura N°26 Camión Volquete 777G CAT	72
Figura N°27 Organigrama del Área de Mantenimiento	111
Figura N°28 Tendencia de la Viscosidad de Excavadora N° 3	117
Figura N°29 Tendencia de Hollín en Aceite de MCI de Excavadora N° 3	118

LISTA DE CUADROS

Cuadro N° 1 Niveles de Vibración Norma ISO 10816	20
Cuadro N° 2 Capacidad de camiones volquete	57
Cuadro N° 3 Especificaciones técnicas de Excavadora 322D CAT	68
Cuadro N° 4 Especificaciones hidráulicas/transmisión/carguío Excavadora 322D CAT	69
Cuadro N°5 Especificaciones de consumo de combustible de Excavadora 322D CAT	69
Cuadro N° 6 Especificaciones técnicas de Camión Volquete 777G CAT	70
Cuadro N°7 Especificaciones de consumo de combustible de Camión Volquete 777G CAT	71
Cuadro N°8 Grado de criticidad de Excavadoras 322D	73
Cuadro N°9 Grado de criticidad de Camiones Volquete 777G	74
Cuadro N° 10 Ocurrencia de fallas Excavadora N° 3	78
Cuadro N° 11 Costo unitario de Hora hombre en Excavadora 322D	79
Cuadro N° 12 Costo de Mantenimiento correctivo en Excavadora N° 3	81
Cuadro N° 13 Costo de Mantenimiento correctivo en Excavadora N° 3	82
Cuadro N° 14 Mantenimiento Preventivo-Filtros de Motor en Excavadora N° 3	83
Cuadro N° 15 Mantenimiento Preventivo-Filtros de Pala articulada en Excavadora N° 3	83
Cuadro N° 16 Mantenimiento Preventivo-Aceites Excavadora 322D N° 3	84
Cuadro N° 17 Mantenimiento Preventivo-Filtros Excavadora 322D N° 3	84
Cuadro N° 18 Costo de Mantenimiento Preventivo por periodos Excavadora 322D N° 3	85
Cuadro N° 19 Costo de Mantenimiento Preventivo Mano de Obra Excavadora 322D N° 3	86
Cuadro N° 20 Consumo y costo de Diesel B5 Excavadora 322D N° 3	90
Cuadro N° 21 Ocurrencia de fallas en Flota de Excavadoras 322D-Periodo Inicial	92
Cuadro N° 22 Desempeño del mantenimiento en Flota de Excavadoras 322D- Periodo Inicial	93
Cuadro N° 23 Desempeño de Indicadores Energéticos en Flota de Excavadoras 322D-Periodo Inicial	94
Cuadro N° 24 Ocurrencia de fallas Camión Volquete N° 2	95
Cuadro N° 25-A Costo de Mantenimiento correctivo en Camión Volquete N° 2	97
Cuadro N° 25-B Costo de Mantenimiento correctivo en Camión Volquete N° 2	98
Cuadro N° 26 Mantenimiento Preventivo-Filtros de Motor en Camión Volquete N° 2	99

Cuadro N° 27 Mantenimiento Preventivo-Filtros de Tolva articulada en Camión Volquete N° 2	99
Cuadro N° 28 Mantenimiento Preventivo-Aceites Camión Volquete N° 2	100
Cuadro N° 29 Mantenimiento Preventivo- Camión Volquete N° 2	100
Cuadro N° 30 Costo de Mantenimiento Preventivo por periodos Camión Volquete N° 2	101
Cuadro N° 31 Costo de Mantenimiento Preventivo Mano de Obra Camión Volquete N° 2	102
Cuadro N° 32 Consumo y costo de Diesel B5 Camión Volquete N° 2	106
Cuadro N°33 Ocurrencia de fallas en Flota de Camiones Volquete 777G CAT – Periodo Inicial	108
Cuadro N° 34 Desempeño del mantenimiento en Flota de Volquete 777G CAT – Periodo Inicial	109
Cuadro N° 35 Desempeño de Indicadores Energéticos en Flota de Volquete 777G CAT -Periodo Inicial	110
Cuadro N° 36 actividades Rutinarias de Mantenimiento Sistema Eléctrico/motriz y Transmisión	115
Cuadro N° 37 actividades Rutinarias en Sistemas Freno/neumático/dirección , Hidráulica y Estructural	116
Cuadro N° 38 Plan de Actividades Predictivas de Tribología	117
Cuadro N° 39 Plan de Actividades Predictivas de Termografía y Control de Temperaturas	119
Cuadro N° 40 Plan de Actividades Predictivas de Dureza	120
Cuadro N° 41 Plan de Actividades Predictivas de Dureza a las 500 Horas para la Excavadora N° 3	121
Cuadro N° 42 Ocurrencia de fallas Excavadora N° 3-Periodo final	122
Cuadro N° 42-B Costo de Mantenimiento correctivo en Excavadora N° 3-Periodo Final	123
Cuadro N° 42-C Costo de Mantenimiento correctivo en Excavadora N° 3-Periodo final	124
Cuadro N° 43 Mantenimiento Preventivo-Filtros de Motor en Excavadora N° 3-Periodo final	125
Cuadro N° 44 Mantenimiento Preventivo-Filtros de Pala articulada en Excavadora N° 3-Periodo final	125
Cuadro N° 45 Mantenimiento Preventivo-Aceites Excavadora 322D N° 3-Periodo final	126
Cuadro N° 46 Mantenimiento Preventivo-Grasas Excavadora 322D N° 3-Periodo final	126
Cuadro N° 47 Inspección de Sistema Eléctrico/Electrónico y Mando Excavadora 322D N° 3-Periodo final	126

Cuadro N° 48 Costo de Mantenimiento Preventivo por periodos Excavadora 322D N° 3-Periodo final	128
Cuadro N° 49 Costo de Mantenimiento Preventivo Mano de Obra Excavadora 322D N° 3-final	128
Cuadro N° 50 Costo de Mantenimiento Predictivo Excavadora 322D N° 3-final	129
Cuadro N° 51 Consumo y costo de Diesel B5 Excavadora 322D N° 3-Final	133
Cuadro N° 52 Ocurrencia de fallas en Flota de Excavadoras 332D-Periodo	135
Cuadro N° 53 Desempeño del mantenimiento en Flota de Excavadoras 322D-Periodo Final	136
Cuadro N° 54 Desempeño de Indicadores Energéticos en Flota de Excavadoras 322D-Periodo final	137
Cuadro N° 55 Ocurrencia de fallas Camión Volquete N° 2-Periodo final	138
Cuadro N° 56-A Costo de Mantenimiento correctivo en Camión Volquete N° 2-Final	139
Cuadro N° 56-B Costo de Mantenimiento correctivo en Camión Volquete N° 2-Final	140
Cuadro N° 57 Mantenimiento Preventivo-Filtros de Motor en Camión Volquete N° 2-Periodo final	142
Cuadro N° 59 Mantenimiento Preventivo-Aceites Camión Volquete N° 2-periodo final	143
Cuadro N° 60 Mantenimiento Preventivo- Engrase Camión Volquete N° 2- Periodo final	143
Cuadro N° 61 Mantenimiento Preventivo-Inspección Sistema Eléctrico /Electrónico/Control Camión Volquete N° 2-Periodo final	143
Cuadro N° 62 Costo de Mantenimiento Preventivo por periodos Camión Volquete N° 2-Periodo Final	145
Cuadro N° 63 Costo de Mantenimiento Preventivo Mano de Obra Camión Volquete N° 2-Periodo Final	145
Cuadro N° 64 Costo de Mantenimiento Predictivo Camión Volquete N° 2- Periodo Final	146
Cuadro N° 65 Consumo y costo de Diesel B5 Camión Volquete N° 2-Periodo final	149
Cuadro N°66 Ocurrencia de fallas en Flota de Camiones Volquete 777G CAT – Periodo Final	151
Cuadro N° 67 Desempeño del mantenimiento en Flota de Volquete 777G CAT – Periodo Final	152
Cuadro N° 68 Desempeño de Indicadores Energéticos en Flota de Volquete 777G CAT -Periodo Final	153
Cuadro N°69 Comportamiento de los KPI en la muestra de estudio	157
Cuadro N°70 Comportamiento de los KPI en las Excavadoras 322D	157
Cuadro N°71 Comportamiento de los KPI en los camiones Volquete 777G CAT	158

Cuadro N° 72 Comportamiento de los Indicadores de Mantenimiento en la muestra de estudio	159
Cuadro N° 73 Comportamiento de los Indicadores de Desempeño en la muestra de Estudio	161
Cuadro N° 74 Comportamiento los Indicadores de Desempeño en la población Analizada	161
Cuadro N° 75 Comportamiento los Indicadores de Desempeño en la población Analizada	162

LISTA DE GRAFICOS

Grafico N°1 Diagrama de Pareto –Ocurrencia de Fallas Excavadora N°3	154
Grafico N°2 Diagrama de Pareto – duración de ocurrencia de Fallas Excavadora N°3	155
Grafico N°3 Diagrama de Pareto –Ocurrencia de Fallas Camión Volquete N° 2	156
Grafico N°4 Diagrama de Pareto – duración de ocurrencia de Camión Volquete N°2	156
Grafico N° 5 Comportamiento de la Confiabilidad y Disponibilidad de la población Analizada	160
Grafico N° 6 Comportamiento del Índice de Costos de Mantenimiento de la población Analizada	161
Grafico N° 7 Comportamiento del Índice de Costos de Mantenimiento de la población Analizada	163
Grafico N° 8 Comportamiento del Indicador Energético N° 3 de la población analizada	165
Grafico N° 9 Comportamiento de los Indicadores Energéticos IE4 y IE5 de la población analizada	169

RESUMEN

El presente informe de tesis trata acerca de la influencia de un programa de mantenimiento dirigido a la flota de maquinaria pesada compuesta por 08 Excavadoras 322D y 08 Camiones Volquete de obras 777G CAT, los cuales prestan servicio por terceros a la Empresa Minera SULLIDEN SHAHUINDO SAC en la remoción, excavado, carguío y transporte de material para la mina de tajo abierto.

Se toma como muestra de estudio para representar los cálculos, la Excavadora N° 3 y el camión volquete N° 2, a los cuales se le realiza un análisis antes y después de los Indicadores de Mantenimiento, Desempeño y Energéticos, este último relacionado al consumo de Petróleo Diesel B5 comparado a su consumo horario (afectado por un alto precio por el transporte a la zona de operación), número de fallas correctivas, horas de mantenimiento correctivo. Se aplica un programa de mantenimiento que involucre desde la organización del área, actividades preventivas y predictivas, analizándose posteriormente su efecto en los Indicadores.

Se consiguen reducciones unitarias de combustible con respecto al IE1 de la Excavadoras 322D, este en promedio se ha reducido desde 6.730 a 6.057 Galón de Diesel B5/hora con una reducción del 10 %. Con respecto al IE1 de los camiones Volquete 777G CAT, este en promedio se ha reducido desde 5.364 a 5.047 Galón de Diesel B5/hora con una reducción del 5.92 %, lo cual equivale a un ahorro de 4,319 Galones de Diesel B5 dejados de consumir para un promedio de operación de 1700 horas y las 8 máquinas trabajando. Esto reporta un ahorro de U\$ 16,847.00

PALABRA CLAVE: Mantenimiento para mejora de Indicadores Energéticos.

ABSTRACT

This report thesis deals with the influence of a d maintenance program for the fleet of heavy machinery made up 08 and 08 322D excavators dump trucks CAT 777G works, which serve by third parties Empresa Minera SAC SULLIDEN Shahuindo removal, excavated, loading and transportation of material for the open pit mine.

Is sampled study to represent the calculations, the No. 3 excavator and dump truck No. 2, to which it makes an analysis before and after Indicators Maintenance, Performance and Energy, the latter related to consumption B5 Diesel Oil compared to its hourly consumption (affected by a high price for transportation to the area of operation), number of corrective failures, corrective mantemiento hours. Ue maintenance program involving the organizers of the area, preventive and predictive activities subsequently analyzed its effect on indicators applies.

unit fuel reductions are achieved with respect to the excavators IE1 322D, this average has fallen from 6730-6057 gallon of diesel B5 / hour with a 10% reduction. With respect to IE1 trucks Tipper 777G CAT, this average is down from 5364-5047 gallon of diesel B5 / hour with a reduction of 5.92%, equivalent to a saving of 4,319 gallons of diesel B5 left to consume for an average 1700 hours of operation and 8 machines working. This reports a savings of \$ 16847.00

KEYWORD: Maintenance for improving energy indicators.

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1 REALIDAD PROBLEMÁTICA

En la actualidad, el mantenimiento es una actividad que tiene no solamente un impacto directo sobre la capacidad productiva de un proyecto, sino que es un elemento clave para alcanzar unas condiciones de seguridad y de protección medioambiental acordes con las políticas de desarrollo sostenibles de la empresa. Es por tanto y desde todo punto de vista, una actividad que adquiere un papel preponderante en la viabilidad de un proyecto o de una empresa. La minería peruana está sufriendo una expansión sin precedentes en los anales de esta actividad. Pero ese avance al ser tan abrupto y repentino, muchas veces no es acompañado por el de las actividades de apoyo como las constituyen mantenimiento, y sus actividades ligadas, tal como la logística y abastecimiento. Es acá donde debe ponerse la mayor atención, pues el mantenimiento en minería (en especial la gran, mediana y pequeña minería) es en muchos casos el primer presupuesto de la empresa y por lo tanto debe ser manejado de manera muy cuidadosa con una estrategia clara a través de un plan altamente estructurado que evite paradas, accidentes, problemas ecológicos, desviaciones en el presupuesto, etc.

La Empresa Minera SULLIDEN SHAHUINDO SAC filial de la Minera canadiense SULLIDEN GOLD en proceso de construcción y pronto a entrar en el proceso productivo en la extracción de oro y plata a tajo abierto, desde el año 2,013 está en proceso de habilitación, previéndose para finales del año 2015 la entrada en producción, en un lapso de 10 años, según lo autorizado por el Ministerio de Energía y Minas. Teniendo para esto un conjunto de Empresas que suministran servicios, dentro de ellas la flota de maquinaria pesada: excavadora , retroexcavadoras , volquetes , entre otras desarrollan trabajos o tareas de adecuar el medio a las instalaciones previstas. En muchos casos las tareas operativas son prioritarias sobre las tareas de mantenimiento en la flota de maquinaria pesada.

Es notorio que la función de cualquier mantenimiento es prolongar la vida de servicio de cualquier maquinaria o equipo; se ha llegado a determinar que un mantenimiento preventivo es lo más correcto y económico, ya que se basa en la organización de planes; para su ejecución es necesario ejecutar el servicio al equipo, una vez que se ha cumplido un lapso de servicio, según el calendario y horas trabajadas. Esto ayudará a prevenir fallas prematuras.

El funcionamiento de la maquinaria pesada es a través del motor de combustión interna, el cual por medio de una transmisión hace que se accione el convertidor par, cajas y bombas que mandan presión hidráulica a los mandos finales, cilindros de

levante, implementos y accesorios de trabajo de la maquinaria. La base del funcionamiento del motor de combustión interna son los combustibles derivados de los hidrocarburos , para nuestro caso es el petróleo Biodiesel BD2 el cual es transportado desde los terminales de Puerto Salaverry , siguiendo una larga ruta por Trujillo , Huamachuco , Cajabamba hasta el distrito de Cachachi con un recorrido de 500 km por carretera , lo que encarecen los costos unitarios del combustible en 40 % con respecto al precio del combustible puesto en zonas urbanas o en la costa. Este un factor determinante en los costos operativos de las maquinarias sujetas actualmente a paradas imprevistas por un inadecuado plan de mantenimiento y en los Indicadores Productivos , operacionales, mantenimiento y energéticos ,

Para esto formulamos el siguiente problema:

¿CUAL ES LA INFLUENCIA DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO EN LOS INDICADORES ENERGETICOS DE LA FLOTA DE MAQUINARIA PESADA EN LA EMPRESA MINERA SULLIDEN SHAHUINDO SAC?

1.2 ANTECEDENTES:

Se tienen los siguientes estudios que sirven como antecedente al presente informe de tesis:

CARBAJAL RIOS , Hembler (2012) en su Tesis para optar el Título de Ingeniero en Energía de la Universidad Nacional del Santa, Perú ,define lo siguiente : Los indicadores energéticos, también llamados ratios energéticos o números específicos; son valores resultantes de la comparación entre unidades de consumo energético y unidades de producción o servicio. Estos indicadores se pueden elaborar de acuerdo a la unidad de análisis, según lo que se dese comparar tras un estudio o análisis.

Para determinar los valores de los indicadores energéticos es importante conocer los indicadores de Producción y pueden adaptarse a otros sistema como el de calidad , Seguridad Industrial y mantenimiento.

DIAZ GONZALES, Miguel (2014) ,para optar el Título de Ingeniero Mecánico de la Universidad de Pereira, Colombia , concluye lo siguiente : Se realizó un diseño de plan de mantenimiento preventivo, donde se diseñó un formato de tarjeta maestra para los equipos, se diseñaron rutinas de mantenimiento con base a la información recolectada del manual de

operación y mantenimiento de los equipos. Incluso, se diseñaron con base a la experiencia. Estas actividades de mantenimiento fueron basadas por horas de operación de los equipos para las 50, 250, 500, 750, 1000, 1250, 1500, 1750 y 2000 horas para cada modelo de equipo dándoles la nomenclatura M, se redactaron los instructivos de mantenimiento con base en las necesidades identificadas en los equipos, se asignó un código a los instructivos.

DUELLES RAMIREZ, Jhon (2013) , en su Tesis para optar el título de Ingeniero mecánico en la Universidad Cesar Vallejo ,Perú concluye lo siguiente : Comparando los 11 Sistemas conformantes del tractor Bulldozer Komatsu D375A-5 según el diagramas de Jack Knife y después del análisis estadístico de fallas secundarias, se tiene una reducción de la frecuencia de fallas y de los tiempos que involucran a esta actividad, mejorando en referencia al número de paradas, de 52 a 29 con un porcentaje de mejora del 44.23 % y en referencia las horas en parada o fallas secundarias de 54.17 a 23.40 horas, con un porcentaje de mejora del 55.80%.Se demostró que el estudio de fallas secundarias es de vital importancia ya que no ayuda a implementar nuevos formatos (Revisión de fallas secundarias) y puntos específicos donde aplicar los correctivos necesarios para evitar las paradas no programadas.

GARCES GUERRERO Maricela (2011) en su tesis para optar el Título de Ingeniero de Mantenimiento en la Escuela Superior Técnica de Chimborazo en Riobamba, Ecuador concluye lo siguiente : El análisis de criticidad es una herramienta de la gestión vital para reducir los costos de mantenimiento ya que gracias a la aplicación de este método se pudo categorizar los equipos de la planta para poder iniciar los cambios en aquellos que son críticos. Se optimiza el plan de mantenimiento con ayuda del AMEF y el diagrama de evaluación de tareas, las tareas van enfocadas a la eliminación de modos de fallos de los equipos críticos y por ende disminuye el mantenimiento correctivo. Optimizar el mantenimiento preventivo redujo el costo total de mantenimiento del año 2009 al 2010 en un 7,3%.

HERNANDEZ CRUZ, Víctor (2011) en su tesis para optar el Título de Ingeniero Mecánico de la Universidad San Carlos de Guatemala concluye lo siguiente : La operación de mantenimiento juega un papel importante para que la maquinaria o equipo preste el servicio para el cual fue diseñado. Se debe tener en cuenta que el

cuidado y mantenimiento son de igual importancia, ya que si no hay un buen mantenimiento preventivo y sin una buena operación, la maquinaria se dañará y no cumplirá con su función. Uno de los mayores errores en el manejo y uso de la maquinaria o equipo es el de hacerla operar por largos períodos, sin realizar los paros necesarios, para efectuar un mantenimiento de las mismas y ejecutarlo únicamente cuando hay fallas, ya que esto incrementará los costos, tanto de repuestos, como de personal.

VILLALBA SALAZAR ,Maria (2009) en su Tesis para optar el título de Ingeniero Industrial de la Universidad del Oriente, Venezuela , concluye lo siguiente : En el diagnóstico operacional realizado al proceso de mantenimiento de la flota vehicular de la división de bombeo de la empresa Tucker Energy Services, se identificaron 13 modos de fallas de los cuales el 80 % tenían alta o media criticidad, siendo las causas principales la ausencia de procedimientos para planificar y controlar la gestión, la ausencia de herramientas computarizadas que faciliten y optimicen la transformación de los datos en información y ausencia de una organización formal para realizar el mantenimiento preventivo. Como mecanismos de planificación y control, se diseñó un sistema de orden de trabajo, planes de mantenimiento preventivo e indicadores de gestión, para sistematizar las actividades de mantenimiento y controlar sus resultados también se estableció un nuevo procedimiento para realizar las actividades de mantenimiento de la flota vehicular, permitiendo de esta manera la retroalimentación de la gestión del mantenimiento y de la energía.

1.3 DESCRIPCION DEL LUGAR DONDE SE HA REALIZADO EL ESTUDIO.

a. DATOS MARCO :

La Compañía SULLIDEN GOLD de capitales canadiense inicio el año 2013 el proceso de construcción de la mina a tajo abierto SULLIDEN SHAHUINDO SAC con una inversión de 30 millones para la extracción de oro y plata, el año 2015 la Empresa Rio Alto Minning asociada a la primera a invertido 70 millones de dólares para iniciar la extracción del mineral. Dentro de las principales empresas que se encuentran operando en la construcción tenemos STRACON y GyM , las cuales

agrupan un conjunto de empresas contratistas y servicios para cubrir los diversos servicios de operación y mantenimiento de la flota de maquinaria pesada.

Healp Leach Consulting SAC (HLC) para la fabricación y construcción de planta de proceso de adsorción/desorción de oro del proyecto Fase 1.

El consorcio Stracon GyM estará también a cargo del minado, y construcción de la pila y botadero de desmontes de manera permanente como una extensión de la exitosa alianza minera que se ha realizado en La Arena.

OFICINAS ADMINISTRATIVAS :

Dirección : Calle San Martín 845, oficina 201, Miraflores

Teléfono : (+511) 6512500

MINA :

Las Instalaciones de la EMPRESA MINERA SULLIDEN SHAHUINDO SAC, perteneciente a la empresa canadiense Sulliden Gold Corporation Ltd., está ubicado en Región de Cajamarca en los caseríos de San José, Moyan Alto, Moyan Bajo y Shahuindo de Araqueda, Distrito de Cochachin , Provincia de Cajabamba.



Figura N° 1 : Ubicación geográfica Minera SULLIDEN SHAHUINDO SAC

1.4 JUSTIFICACIÓN

En la actualidad los Equipos Pesados son de gran requerimiento en la industria minera, de transporte y construcción, requiriendo de ellas la máxima disponibilidad y una alta confiabilidad durante el desarrollo de las actividades. Para ello es importante realizar actividades de Gestión que permitan entender el funcionamiento de los equipos dentro de un determinado contexto para en base a ello determinar los modos de falla más significativos en los equipos que permita estructurar un buen plan de mantenimiento en base a una buena planificación y programación de tareas así como el empleo de técnicas de análisis para solucionar los problemas generados por las fallas más significativas. Así mismo, dentro de todo proceso la Gestión de costos relacionados con el proceso deben ser conocidos y adecuadamente analizados para obtener la máxima eficiencia de los mismos. La importancia de este proyecto de investigación radica en lo siguiente:

- Interrelacionar los conceptos de Gestión de la Energía definida por la Norma ISO 50001, en el cual establece que los Indicadores Energéticos son los parámetros que permiten una adecuada administración de los consumos y costos energéticos específicos y los conceptos de Gestión del mantenimiento según la Norma SAE J1011 Mantenimiento centrado en la confiabilidad
- Aplicar los conceptos de control del uso eficiente de la energía en la flota de maquinaria pesada de la EMPRESA MINERA SULLIDEN SHAHUINDO SAC y su relación con la aplicación de un programa de mantenimiento preventivo y predictivo, el cual permitirá mejores resultados en los consumos específicos de combustible en relación a los indicadores de mantenimiento.
- Un menor costo en el consumo de combustible en los motores de maquinaria pesada destinados a trabajos de alta disponibilidad y confiabilidad.

1.4 HIPÓTESIS

Se plantea la siguiente hipótesis: LA INFLUENCIA DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO EN LOS INDICADORES ENERGETICOS DE FLOTA DE MAQUINARIA PESADA EN LA EMPRESA MINERA SULLIDEN SHAHUINDO SAC. ES POSITIVA, PERMITIENDO SU MEJORA EN UN 10 %.

1.5 OBJETIVOS:

OBJETIVO GENERAL

Determinar la influencia de un programa de mantenimiento en los indicadores energéticos de la flota de maquinaria pesada en la Empresa Minera Sulliden Shahuindo SAC

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un diagnóstico en la flota de maquinaria pesada en la Empresa Minera Sulliden Shahuindo SAC para la determinación de los Indicadores Energéticos y su Grado de criticidad
- Elaborar un programa de mantenimiento preventivo para la flota de maquinaria pesada en la Empresa Minera Sulliden Shahuindo SAC
- Programar y evaluar actividades de mantenimiento predictivo en la flota de maquinaria pesada en la Empresa Minera Sulliden Shahuindo SAC
- Determinar el incremento de las Tasas de los Indicadores de Mantenimiento al aplicar el programa de mantenimiento en los indicadores energéticos de la flota de maquinaria pesada en la Empresa Minera Sulliden Shahuindo SAC.
- Evaluar los Indicadores Energéticos de la flota de maquinaria pesada en la Empresa Minera Sulliden Shahuindo SAC y determinar la influencia de la aplicación del programa de mantenimiento.

CAPITULO II:

MARCO TEORICO

2.1 MANTENIMIENTO :

2.1.1 GENERALIDADES:

A. DEFINICION:

Es la actividad humana que conserva la calidad del servicio que prestan las máquinas, instalaciones y edificios en condiciones seguras, eficientes y económicas.

Es una actividad dinámica donde interactúan varias variables complejas dentro de un patrón aleatorio que se fundamenta en la teoría de probabilidades, y su objetivo es la maximización de la efectividad del sistema, sin sacrificar el medio ambiente y la seguridad. Esta actividad debe ser susceptible a ser:

Planificada.

Dirigida.

Controlada.

El mantenimiento debe ser analizado como un sistema abierto donde interactúan varias variables complejas, así tenemos la siguiente figura:

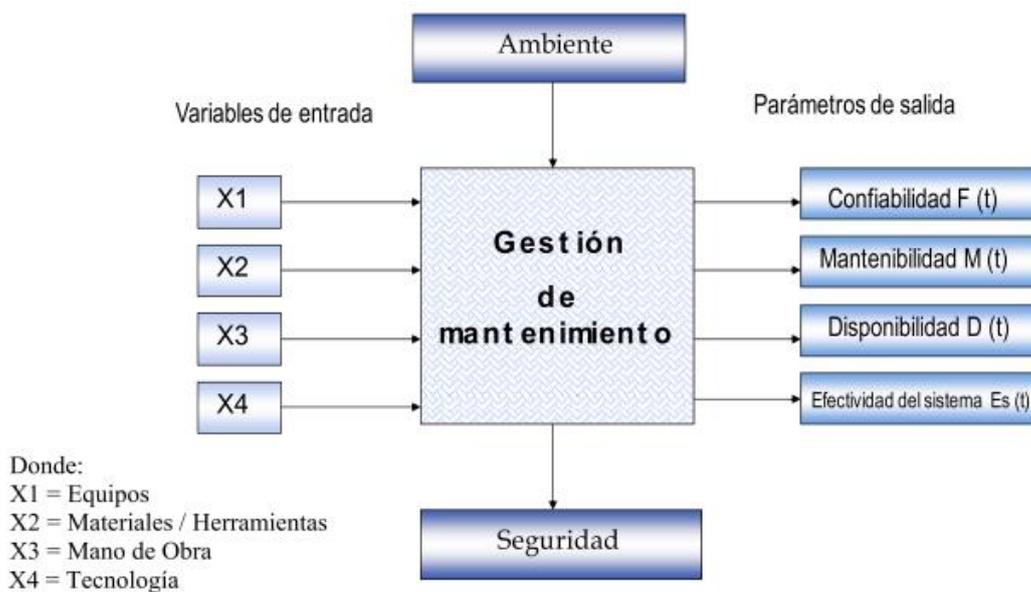


Figura N° 2 El mantenimiento como un sistema abierto.

Fuente : Fundamentos del mantenimiento(L. Bravo)

El mantenimiento es la conservación de la maquinaria y equipo con el fin de maximizar su disponibilidad. Esta área se ha perfilado tanto que hoy en día ocupa un lugar importante en la estructura de la organización e inclusive es una de las áreas primordiales para mantener y mejorar la productividad.

Así como el departamento de mantenimiento ha mejorado, la gente que lo lleva a cabo también ha sufrido cambios y han pasado de ser técnicos multiusos a especialistas que conocen perfectamente su área de trabajo.

Actualmente el mantenimiento industrial tiene un gran auge, y que además involucra no sólo al personal de mantenimiento sino también a toda la organización como con el nuevo concepto de mantenimiento productivo total, permite llevar a cabo un mantenimiento productivo a través de las actividades de pequeños grupos involucrando a todos los niveles de la estructura organizacional de la empresa o Institución.

B. ANTECEDENTES:

La función del mantenimiento data desde que se inicia la época industrial, donde además nace la necesidad de dar mantenimiento a la maquinaria.

Inicia cuando el hombre aislado casi por completo de sus semejantes, se ve en la necesidad de proveerse de alimento y abrigo por él mismo.

Conforme fue evolucionando se organizó en grupos, inventando armas y herramientas (máquinas primitivas) que con el paso del tiempo mejoraron enormemente el rendimiento de lo que se considera maquinaria humana de producción, cabe señalar que además los métodos y procedimientos de las actividades propias de su tiempo se mejoraron a pasos agigantados.

Llegando a la primera década del siglo XVII en el Reino Unido, uno de los países más industrializados, contó en esa época con trabajos infrahumanos para hombres, mujeres, niños y ancianos que necesitaban subsistir. Con la llegada del invento de James Watt, la máquina de vapor, empieza a surgir un cambio radical en el ambiente laboral que se vivía en aquel tiempo. Y con la llegada de la revolución industrial (1760 - 1830), se mejoran en demasía los tiempos de producción y con ello las condiciones de trabajo para los obreros.

En ésta época la conservación (preservación y mantenimiento) era de manera correctiva ya que sólo se pensaba en arreglar la máquina y no en el servicio que ésta prestaba.

El advenimiento de la industrialización incrementó la necesidad de mantenimiento para obtener una mayor disponibilidad de la maquinaria y equipo para la producción; y con ello las máquinas aumentaron su volumen, complejidad e importancia.

En la Primera Guerra Mundial (1914), se presenta un incremento en los volúmenes de producción debido a las necesidades propias de una guerra de esa magnitud, por ello, la máquina incrementa nuevamente su importancia y sus cuidados.

Esta es la forma de cómo nace el mantenimiento preventivo, que en la década de los veinte se considera costosa pero necesaria. Ya en los años cincuenta la máquina se integra por dos factores que son: la máquina propiamente dicha y el servicio que ésta proporciona, en donde el servicio se mantiene y el recurso se preserva. Como la importancia de la máquina todavía quedaba en segundo término, un cierto grupo de proveedores de máquinas realizaron estudios respecto a la fiabilidad y mantenibilidad, con el fin de reducir los problemas en la preservación de las máquinas y minimizar las actividades de mantenimiento sin dejar que éstas fueran menos productivas. En 1970, el japonés Seichi Nakajima desarrolla un nuevo sistema, el Mantenimiento Productivo Total (MPT) que hace hincapié en lo importante que resulta involucrar al personal de producción y al de mantenimiento en las actividades de mantenimiento productivo, ya que ha dado resultados satisfactorios en las industrias de punta.

C. OBJETIVOS DEL MANTENIMIENTO:

El diseño e implementación de cualquier sistema organizativo y su posterior informatización debe siempre tener presente que está al servicio de unos determinados objetivos. Cualquier sofisticación del sistema debe ser contemplada con gran prudencia en evitar, precisamente, de que se enmascaren dichos objetivos o se dificulte su consecución.

Los principales objetivos del mantenimiento, manejados con criterios económicos y encausados a un ahorro en los costos generales de producción son:

- Llevar a cabo una inspección sistemática de todas las instalaciones, con intervalos de control para detectar oportunamente cualquier desgaste o rotura, manteniendo los registros adecuados.
- Mantener permanentemente los equipos e instalaciones, en su mejor estado para evitar los tiempos de parada que aumentan los costos.
- Efectuar las reparaciones de emergencia lo más pronto, empleando métodos más fáciles de reparación.
- Prolongar la vida útil de los equipos e instalaciones al máximo.
- Sugerir y proyectar mejoras en la maquinaria y equipos para disminuir las posibilidades de daño y rotura.
- Controlar el costo directo del mantenimiento mediante el uso correcto y eficiencia del tiempo, materiales, hombres y servicio.

D. FUNCIONES DEL MANTENIMIENTO:

FUNCIONES PRIMARIAS:

- Mantener reparar y revisar los equipos e instalaciones.
- Generación y distribución de los servicios eléctricos, vapor, aire, agua, gas, etc.
- Modificar, instalar, remover equipos e instalaciones.
- Nuevas instalaciones de equipos y edificios.
- Desarrollo de programas de Mantenimiento preventivo y programado.
- Selección y entrenamiento de personal.

FUNCIONES SECUNDARIAS:

- Asesorar la compra de nuevos equipos.
- Hacer pedidos de repuestos, herramientas y suministros.
- Controlar y asegurar un inventario de repuestos y suministros.
- Mantener los equipos de seguridad y demás sistemas de protección.
- Llevar la contabilidad e inventario de los equipos.
- Cualquier otro servicio delegado por la administración.

E. ACTIVIDADES Y RESPONSABILIDADES DEL MANTENIMIENTO:

El mantenimiento adecuado, tiende a prolongar la vida útil de los bienes, a obtener un rendimiento aceptable de los mismos durante más tiempo y a reducir el número de fallas. Decimos que algo falla cuando deja de brindarnos el servicio que debía darnos o cuando aparecen efectos indeseables, según las especificaciones de diseño con las que fue construido o instalado el bien en cuestión.

A continuación se relacionan las principales Actividades y responsabilidades del mantenimiento:

- Dar la máxima seguridad para que no se vayan a presentar paros en la producción.
- Mantener el equipo en su máxima eficiencia de operación.
- Reducir al mínimo el tiempo de paro.
- Reducir al mínimo los costos de mantenimiento.
- Mantener un alto nivel de Ingeniería práctica en el trabajo realizado.
- Investigar las causas y remedios de los paros de emergencia.
- Planear y coordinar la distribución del trabajo acorde con la fuerza laboral disponible.
- Proporcionar y mantener el equipo de taller requerido.
- Preparar anualmente un presupuesto, con justificación adecuada que cubra el costo de mantenimiento.

- Establecer una rutina adecuada de inspección de los equipos contra incendios, organizando y adiestrando al personal.

2.1.2 CLASES DE MANTENIMIENTO:

En función al tiempo como se desarrolla un mantenimiento durante el ciclo de vida de una maquina tenemos la siguiente clasificación:

A. MANTENIMIENTO PERIODICO:

Hace referencia al cuidado y protección racional de la máquina durante y en el lugar donde está operando. Esta a su vez se subdivide en dos niveles: el primero hace referencia al nivel del usuario de la máquina, y el segundo al de un técnico medio.

Es el que comprende actividades tales como: lubricación, limpieza, protección, ajustes, calibración u otras; su frecuencia de ejecución es hasta periodos semanales, generalmente es ejecutado por los mismos operarios de los sistemas productivos y su objetivo es mantener y alargar la vida útil de dichos sistemas productivos evitando su desgaste.

B. MANTENIMIENTO PROGRESIVO PROGRAMADO:

Se refiere a la revisión y reparación que se le ejecuta a la máquina cuando ésta no está funcionando. Se subdivide en tercero y cuarto nivel, donde el tercero hace referencia a la labor de los talleres artesanales y el cuarto a la labor de terceros que cuentan con personal y talleres especializados.

Toma como basamento las instrucciones técnicas recomendadas por los fabricantes, constructores, diseñadores, usuarios y experiencias conocidas, para obtener ciclos de revisión y/o sustituciones para los elementos más importantes de un sistema productivo a objeto de determinar la carga de trabajo que es necesario programar. su frecuencia de ejecución cubre desde quincenal hasta generalmente periodos de un año. es ejecutado por las cuadrillas de la organización de mantenimiento que se dirigen al sitio para realizar las labores incorporadas en un calendario anual.

C. OVERHOUL:

Llamado también mantenimiento mayor. A ella pertenece el quinto nivel, que es ejecutado por el fabricante del equipo en sus propios talleres, pudiendo ejecutar cualquier tipo de reparación, reconstrucción o modificación.

El “Overhaul” es aquel mantenimiento aplicado a Prácticas y Estrategias de Mantenimiento Mayor “Gestión de Coste del Ciclo de Vida de los Activos” activo o

instalación donde su alcance en cuanto a la cantidad de trabajos incluidos, el tiempo de ejecución, el nivel de inversión o coste del mantenimiento y requerimientos de planificación y programación son de elevada magnitud (con respecto al mantenimiento operacional), dado que la razón de este tipo de mantenimiento reside en la restitución general de las condiciones del servicio del activo, bien sea desde el punto de vista de diseño o para extender su vida útil con la mínima probabilidad de fallo (confiabilidad) y dentro de los niveles de desempeño o eficiencia requeridos. Después de realizar un overhaul, el equipo volverá a repetir el ciclo de vida útil, pero con una tasa de fallas superior al ciclo anterior, porque evidentemente se producirán más fallas que las que no aparecieron en la etapa anterior.

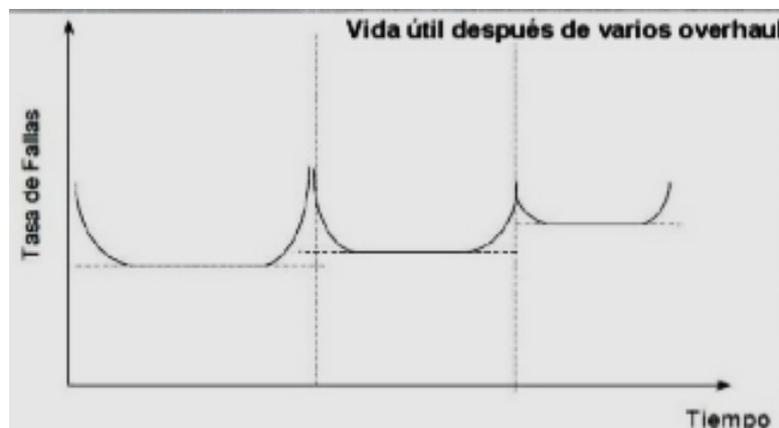


Figura N° 3 Vida útil después de varios overhoul

Fuente: Fundamentos del mantenimiento(L. Bravo)

2.2 TIPOS DE MANTENIMIENTO:

La filosofía del mantenimiento es básicamente diseñar o implementar un nivel mínimo de estándares y personal de mantenimiento que sea consistente para la optimización de la producción y la disponibilidad de los equipos. El mantenimiento puede ser enfocado en las siguientes filosofías:

2.2.1 MANTENIMIENTO CORRECTIVO:

El mantenimiento correctivo es aquel que sirve para corregir los problemas que se van presentando en los equipos a medida que los usuarios los van comunicando, es decir, se espera a que ocurra una falla para que el personal de mantenimiento entre en acción.

Este tipo de mantenimiento se realiza solo cuando el equipo o máquina es incapaz de seguir operando. No hay manera de planear este tipo de mantenimiento ya que

generalmente es ejercido en emergencia. Generalmente, este tipo de filosofía es conocida como “hasta que falle”. Es de anotar que este mantenimiento es “a posteriori” es decir, que se ejecuta después de que ha ocurrido la falla.

Este tipo de mantenimiento es importante porque no se puede tener un sistema de gestión de mantenimiento si no contamos con un sistema de mantenimiento correctivo eficiente. Siempre va a existir el mantenimiento correctivo, ya que siempre aparecerán averías de manera imprevista, un modelo que este 100% orientado a evitar los desperfectos tendrá muchos problemas cuando las fallas aparezcan y no puedan ser solucionadas rápidamente.

Consiste en intervenir con una acción de reparación o reemplazo de un componente, cuando el fallo se ha producido.

Su principal ventaja es que se aprovecha al máximo la vida útil del equipo; no hay necesidad de detener los equipos ni velar por programaciones establecidas.

Su principal desventajas: ocurrencias aleatorias de las fallas, con menor disponibilidad y mayores costos.

La mayoría de las empresas utilizan más tiempo realizando mantenimientos correctivos que realizando mantenimientos preventivos o predictivos. En algunas empresas se puede notar que el único mantenimiento que se realiza es el mantenimiento correctivo.

Estas correcciones requieren de personas muy especializadas y baja una rigurosa supervisión de ingenieros, así como del distribuidor, y guiarse con el manual del fabricante, para no perder la potencia de la máquina o perjudicar su funcionamiento.

2.2.2 MANTENIMIENTO PREVENTIVO:

A. GENERALIDADES:

El mantenimiento preventivo mantiene en funcionamiento los equipos mediante la supervisión de planes a realizarse en puntos específicos. Este mantenimiento también es conocido como mantenimiento planificado, mantenimiento proactivo o mantenimiento basado en el tiempo pues se trabaja con datos de los fabricantes o con estadísticas sobre las fallas más comunes en los equipos, aquí el termino “planificado” es la base del significado del mantenimiento preventivo.

El mantenimiento preventivo genera un conjunto de planes que deben realizarse en fechas preprogramadas, siendo estos planes muy completos debido a que en estos se detallan todos los materiales, las herramientas y los repuestos a emplearse en dicho

mantenimiento, también se tiene el detalle del personal técnico y el personal a cargo de la reparación.

El mantenimiento preventivo evita las paradas no programadas, las cuales se generan debido a que el personal está acostumbrado a hacer trabajar las máquinas por largos períodos de tiempo sin efectuar mantenimiento gracias a la velocidad que poseen al reparar las fallas bajo presión. Los trabajos a la ligera deben evitarse debido a que las zonas en las que se trabaja son muy peligrosas.

Las acciones programadas con el objetivo de disminuir las fallas aleatorias con acciones preventivas. Se introducen nuevos costos, pero se reducen las reparaciones.

El mantenimiento preventivo requiere personal más calificado.

Dentro de sus ventajas: incrementa la disponibilidad de los equipos y la seguridad garantiza la planificación de los recursos.

Dentro de sus desventajas tenemos: el costo que implica la parada de equipos.

B. MEDIDAS PREVENTIVAS:

Se pueden aplicar las siguientes medidas preventivas:

TAREAS DE MANTENIMIENTO: Son aquellos trabajos que se pueden realizar para evitar las fallas, entre ellas tenemos las inspecciones visuales, la lubricación, la limpieza y los ajustes, las limpiezas técnicas sistemáticas, los ajustes sistemáticos, el cambio de piezas sistemático, las inspecciones con instrumentos internos y externos y por último las grandes revisiones.

MEJORAS Y/O MODIFICACIONES A LA INSTALACIÓN: Los fallos se pueden reducir si aplicamos algunas mejoras, entre ellas tenemos los cambios en los materiales, los cambios en el diseño de una pieza, instalación de sistemas de detección, cambios en el diseño de una instalación, cambios en las condiciones externas al ítem a reparar.

CAMBIOS EN LOS PROCEDIMIENTOS DE OPERACIÓN: Los operarios son los que trabajan día a día con el equipo y siempre hay algo que se puede realizar para evitar las fallas, es por eso que un cambio en la manera en la que el operario realiza su trabajo puede ser muy útil. Esta medida es económica ya que principalmente debe invertirse en capacitaciones apoyadas por los supervisores para evitar que los operarios sean reacios al cambio.

CAMBIOS EN LOS PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO: Algunas fallas ocurren porque el personal de mantenimiento no realiza bien su trabajo, esto puede

mejorarse con la creación de un procedimiento escrito que incluya algunos datos como tolerancias, ajustes, etc.

C. CLASIFICACION:

MANTENIMIENTO PREVENTIVO CON BASE EN EL TIEMPO O EL USO: Este tipo de mantenimiento es planeado y se lleva a cabo para fallas futuras potenciales.

Igualmente, este puede ser basado en el uso o las condiciones del equipo. De igual forma, es con base en las horas de trabajo del equipo o en el tiempo se lleva a cabo de acuerdo a las horas de funcionamiento o una fecha en específico. Las rutinas son conocidas y sus frecuencias. Este tipo de mantenimiento es “a priori” es decir, que se efectuó antes de la ocurrencia de la falla.

MANTENIMIENTO PREVENTIVO CON BASE A LAS CONDICIONES DEL EQUIPO: Este mantenimiento se basa en las condiciones conocidas del equipo, y estas condiciones se determinan observando los parámetros del equipo durante tiempos determinados. Es también conocido como mantenimiento predictivo.

MANTENIMIENTO DE OPORTUNIDAD: Este tipo de mantenimiento es aplicado como su nombre lo indica, cuando se da la oportunidad. Generalmente, se realiza cuando el equipo tiene un paro programado y pueden efectuarse labores en el mismo sin que afecte su normal operación.

2.2.3 MANTENIMIENTO PREDICTIVO:

El mantenimiento predictivo es aquel que se realiza luego de hacer un seguimiento a algunas de las más importantes variables en los equipos. Estas variables son medidas en intervalos de tiempo definidos para poder pronosticar la falla del equipo y realizar el mantenimiento antes de que ocurra la parada no programada. Las variables más comunes a analizar son: la temperatura, la presión, la cantidad de partículas presentes en el aceite usado, el ruido, la vibración, la viscosidad del aceite, ensayos no destructivos con tintes penetrantes o por ultrasonido, etc.

El mantenimiento predictivo ayuda a ahorrar energía, mejora la productividad, reduce la cantidad de los trabajos de mantenimiento y ayuda a que dichos trabajos se realicen con mayor rapidez y mayor facilidad.

Los beneficios en la prolongación de la vida útil del equipo mediante el mantenimiento predictivo también muestran una ventaja significativa debido a que reduce el período de recambio de los mismos.

La acción de mantenimiento está basada en las condiciones actuales del tiempo.

VENTAJAS: se requiere cuando los resultados del diagnóstico así lo requieren. **El mantenimiento está basado en las inspecciones programadas y en el monitoreo.**

DESVENTAJAS: **elevado costo de los equipos y personal para el diagnóstico. Por ello no todo el equipo se le ejecuta y realiza este tipo de mantenimiento. Solo el 20% de los componentes causan el 80% de las fallas.**

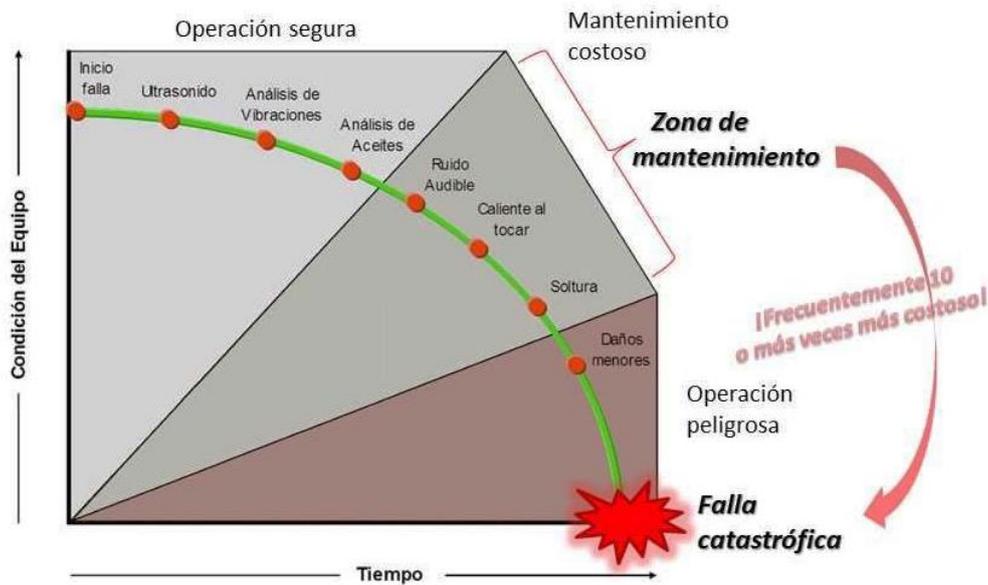


Figura N° 4 Evolución de la condición del equipo

Fuente: Introducción al TPM(NAKAJIMA)

Dentro de las técnicas o actividades de mantenimiento predictivo tenemos las siguientes:

TERMOGRAFIA:

La termografía es una técnica que permite calcular temperaturas a distancia, con exactitud y sin necesidad de contacto físico con el objeto a estudiar. La termografía permite captar la radiación infrarroja del espectro electromagnético, utilizando cámaras termográficas o de termovisión. Conociendo los datos de las condiciones del entorno (humedad y temperatura del aire, distancia a objeto termografiado, temperatura reflejada, radiación incidente,...) y de las características de las superficies termografiadas como la emisividad se puede convertir la energía radiada detectada por la cámara termográfica en valores de temperaturas. En la termografía, cada pixel corresponde con un valor de medición de la radiación; con un valor de temperatura. A esa imagen se le puede definir como radiométrica.

ANALISIS VIBRACIONAL:

El análisis de vibraciones consiste en el estudio del tipo la propagación de ondas elásticas en un material homogéneo y la determinación de los efectos producidos y el modo de propagación. Las vibraciones pueden ser medidas y caracterizadas midiendo la oscilación o desplazamiento alternante de ciertos puntos al paso de una onda elástica.

El control de vibración es un método de ensayo no destructivo para la supervisión de máquinas. Se lo utiliza para detectar fallas tempranas de componentes de máquinas. Una supervisión "inteligente" de máquinas implica no solo el decir que algo está fallando, sino conocer cual elemento de la máquina es el que está fallando y por que se produce la falla.

Se define Vibración como una oscilación mecánica alrededor de una posición de referencia. Vibración es un fenómeno tan común que lo vemos en nuestras casas, durante el transporte y en nuestros trabajos. Muchas veces se lo define como el lado negativo de un proceso útil.

Cuadro N° 1 Niveles de Vibración Norma ISO 10816

N°	Rango (mm/sg)	Categoría
1	Hasta 1	Bueno
2	1-2	Aceptable
3	2-4	Leve
4	4-7	Limite
5	7-18	No permitido -Ruido
6	+ de 18	No permitido critico

Fuente: Norma ISO 10816

TRIBOLOGIA:

Análisis de aceites consiste en la realización de tests fisico-químicos en el aceite con el fin de determinar si el lubricante se encuentra en condiciones de ser empleado, o si debe ser cambiado. es una de las técnicas simples, que mayor información proporciona al Administrador de Mantenimiento, con respecto a las condiciones de operación del equipo, sus niveles de contaminación, degradación y finalmente su desgaste y vida útil.

La contaminación es la principal razón de la disminución de la vida útil de los aceites y de fallas en los equipos. Para la mayoría de los equipos, la contaminación por sólidos es la causa número uno de fallas originadas por desgaste. Existen además otros contaminantes como humedad y partículas que contribuyen al deterioro del aceite. En

estos análisis, los tipos y niveles de partículas pueden indicar la fuente de la contaminación, ayudando a identificar el problema del equipo, reduciendo de esta manera los costos de reparación.

Las estadísticas prueban que del 75 al 85% de todas las fallas en sistemas hidráulicos son resultado directo de la contaminación del fluido. Los contaminantes transportados en el aceite afectan a los distintos componentes del circuito; bombas, motores, válvulas, y cilindros hidráulicos por la corrosión producida por los ácidos que se forman debido a la oxidación del aceite y la contaminación con agua. También se pueden producir atascamientos de válvulas por presencia de partículas, más en circuitos que posean bombas y motores de pistones y válvulas proporcionales.

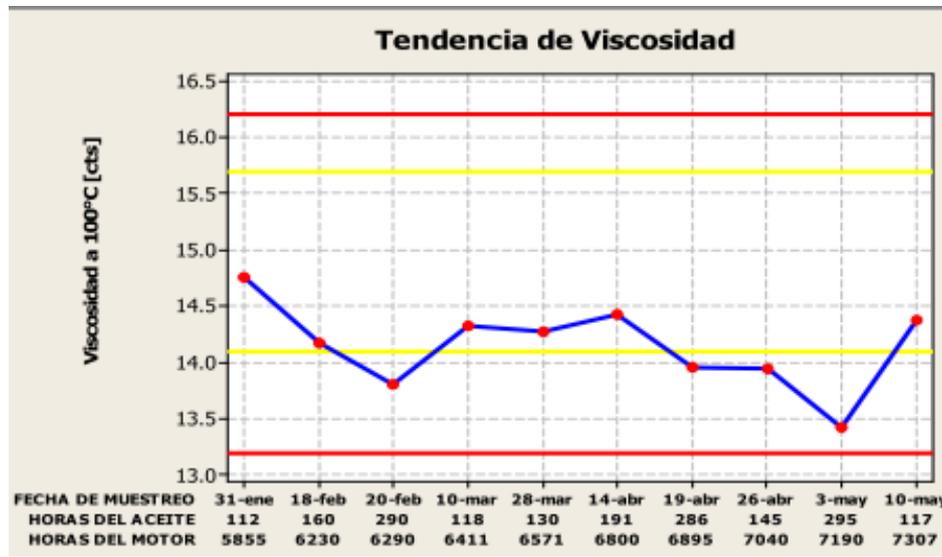


Figura N° 5 Comportamiento de la viscosidad de aceite en MCI

Fuente: Dpto. de Ensayos Tribológicos KOMATSU DEL PERU

INSPECCION CON TINTES PENETRANTES:

La inspección por líquidos penetrantes es un tipo de ensayo no destructivo que se utiliza para detectar e identificar discontinuidades presentes en la superficie de los materiales examinados. Generalmente se emplea en aleaciones no ferrosas, aunque también se puede utilizar para la inspección de materiales ferrosos cuando la inspección por partículas magnéticas es difícil de aplicar. En algunos casos se puede utilizar en materiales no metálicos. El procedimiento consiste en aplicar un líquido coloreado o fluorescente a la superficie en estudio, el cual penetra en cualquier discontinuidad que pudiera existir debido al fenómeno de capilaridad. Después de un determinado tiempo

se elimina el exceso de líquido y se aplica un revelador, el cual absorbe el líquido que ha penetrado en las discontinuidades y sobre la capa del revelador se delinea el contorno de éstas.

Las aplicaciones de esta técnica son amplias, y van desde la inspección de piezas críticas como son los componentes aeronáuticos hasta los cerámicos como las vajillas de uso doméstico. Se pueden inspeccionar materiales metálicos, cerámicos vidriados, plásticos, porcelanas, recubrimientos electroquímicos, entre otros. Una de las desventajas que presenta este método es que sólo es aplicable a defectos superficiales y a materiales no porosos.

2.2.4 MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD:

A. GENERALIDADES

También llamado mantenimiento proactivo. es un proceso de gestión de riesgos que permite mejorar continuamente estrategias de mantenimiento y rendimiento de maquinaria y su objetivo es eliminar los fallos repetitivos o posibles problemas recurrentes.

Es el tipo de mantenimiento más adelantado, ya que en él se emplea herramienta sofisticada para el diagnóstico de las posibles averías; es similar al mantenimiento predictivo, solo que de una manera más completa y con el uso de alta tecnología, ya sea por medio de rayos X, o por el uso de material electrónico, para detectar fisuras, desgaste de piezas indispensables para el funcionamiento de la maquinaria, las cuales no se podría detectar por simple inspección. Es de mucha utilidad para un programa de mantenimiento preventivo, aunque por el alto costo de las herramientas de alta tecnología, solamente es utilizado por empresas grandes, que al aumentar la producción de dicha herramienta y al bajar los precios en un futuro, podría ser de uso más común.

El proceso formula siete preguntas acerca del activo que se intenta analizar:

- ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?
- ¿De qué manera falla en satisfacer sus funciones?
- ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?
- ¿Qué sucede cuando ocurre la falla?
- ¿De qué manera importa cada falla?
- ¿Qué puede hacerse para predecir/prevenir cada falla?

- ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

En el mundo del RCM los estados de falla son conocidos como fallas funcionales porque ocurren cuando el activo no puede cumplir una función de acuerdo al parámetro de funcionamiento que el usuario considera aceptable.

Sin embargo, antes de poder aplicar herramientas apropiadas para el manejo de la falla, necesitamos identificar qué fallas pueden ocurrir.

B. FALLAS:

GENERALIDADES:

Falla funcional es definida como una ocurrencia no previsible, que no permite que el activo alcance el estándar de ejecución esperado en el contexto operacional en el cual se desempeña, trayendo como consecuencia que el activo no pueda cumplir con su función o la cumpla de forma ineficiente.

En otras palabras, el cumplimiento de forma no satisfactoria de una determinada función por parte de un activo en su contexto operacional, puede definirse como falla funcional. El nivel de insatisfacción producido por causa de una falla funcional, dependerá básicamente de las consecuencias que pueda generar la aparición de la misma dentro del contexto operacional.

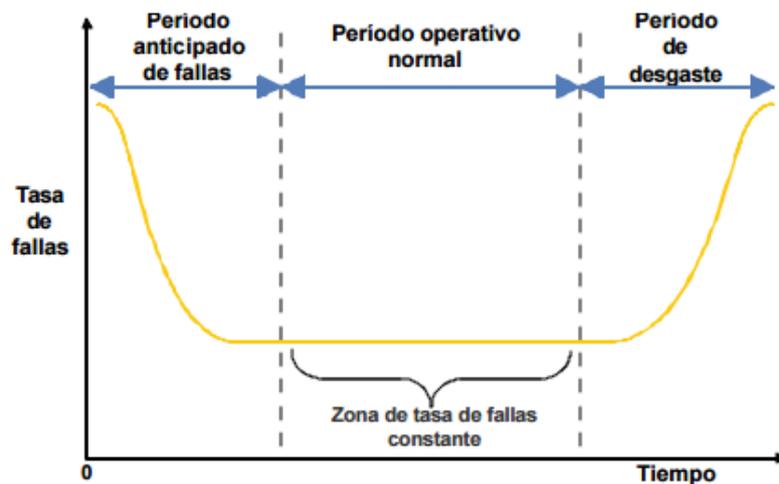


Figura N° 6 Evolución de la tasa de fallas “Curva de bañera”

Fuente: Mantenimiento Industrial (Dounce Villanueva)

CLASIFICACIÓN DE LAS FALLAS

Fallas Tempranas : Ocurren al principio de la vida útil y constituyen un porcentaje pequeño del total de fallas. Pueden ser causadas por problemas de materiales, de diseño o de montaje.

Fallas adultas: Son las fallas que presentan mayor frecuencia durante la vida útil. Son derivadas de las condiciones de operación y se presentan más lentamente que las anteriores (suciedad en un filtro de aire, cambios de rodamientos de una máquina, etc.).

Fallas tardías : Representan una pequeña fracción de las fallas totales, aparecen en forma lenta y ocurren en la etapa final de la vida del bien (envejecimiento de la aislación pequeño motor eléctrico, pérdida de flujo luminoso de una lámpara, etc.)

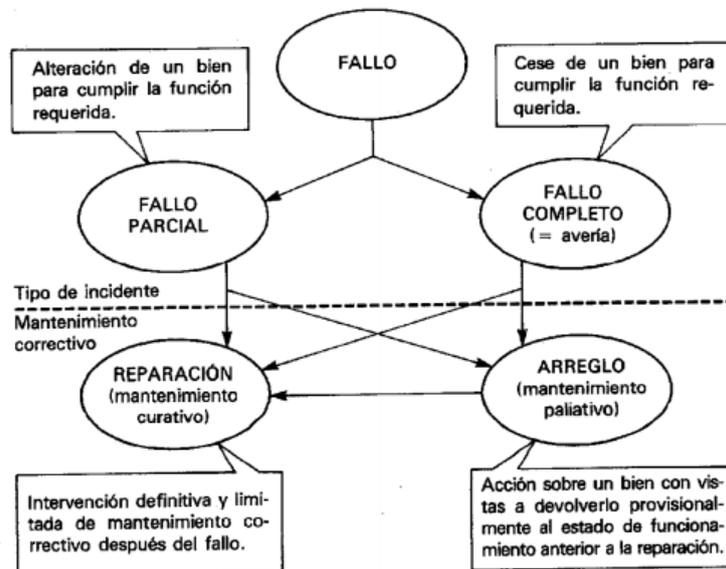


Figura N° 7 Tipos de fallas

Fuente: Fundamentos del mantenimiento(L. Bravo)

CONSECUENCIAS DE LAS FALLAS

El impacto que cualquier modo de falla puede tener sobre la organización, dependerá, básicamente, de tres factores:

Del contexto operacional donde trabaje el activo.

Del estándar de ejecución deseado, asociado a una determinada función.

De los efectos o consecuencias físicas que puede provocar la ocurrencia de cada modo de falla.

La combinación de los tres factores mencionados, hace que cada modo de falla tenga una forma característica de impactar a la seguridad, al ambiente o a las operaciones. Para poder entender esta parte, se han clasificado las consecuencias de los modos de fallas en cuatro categorías

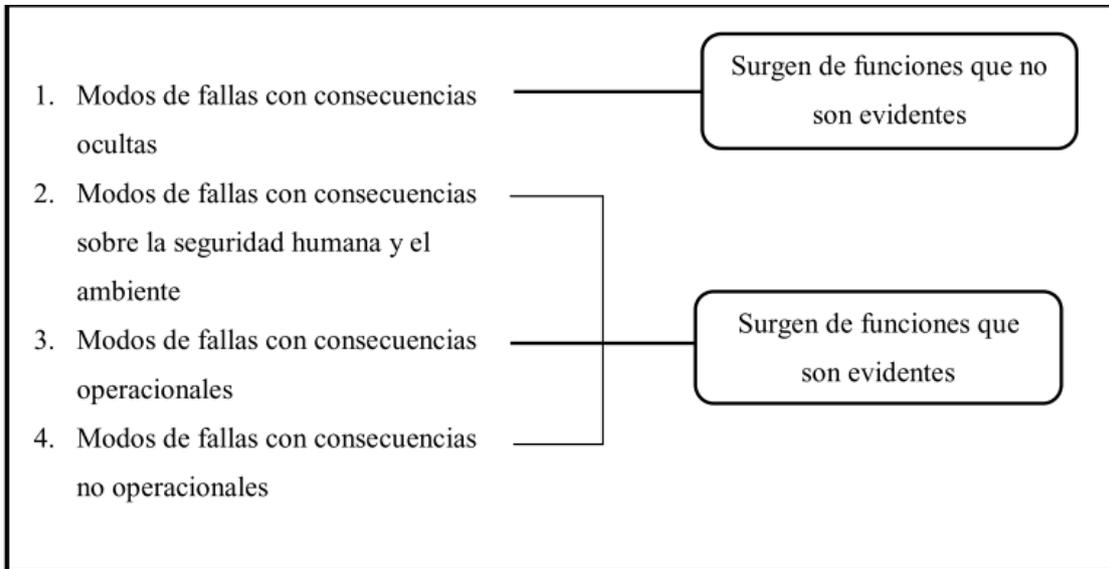


Figura N° 8 Categorías de la conservación de los modos de falla

Fuente: Fundamentos del mantenimiento(L. Bravo)

CONSECUENCIAS DE FALLAS OCULTAS

Las consecuencias de este tipo de modo de fallas, se generan a partir de las funciones ocultas o no evidentes que presentan algunos activos en el contexto operacional (especialmente los equipos de seguridad, protección, reserva y control).

La aparición de modos de fallas con consecuencias ocultas no será evidente dentro del desarrollo normal de las operaciones de un determinado sistema.

Usualmente este tipo de modos de, fallas ocurren en los equipos de protección y reserva.

En la actualidad las plantas y equipos modernos son afectados por este tipo de modos de fallas, debido al incremento en la utilización de sistemas de seguridad y protección, como consecuencia de las nuevas y estrictas exigencias internacionales en áreas como la seguridad humana, el ambiente, y las mismas operaciones (calidad del producto).

CONSECUENCIAS PARA LA SEGURIDAD Y AMBIENTE

Las consecuencias de los modos de fallas sobre la seguridad y el ambiente surgen a partir de funciones evidentes de los activos, cuyas fallas funcionales afectaran: en

primer lugar, a la seguridad humana (muertes, heridas a las personas o condiciones inseguras) y en segundo lugar, al ambiente (incumplimiento de estándares ambientales: internacionales, nacionales, regionales o estatales).

CONSECUENCIAS OPERACIONALES

Los modos de fallas que afectan a las operaciones, surgen a partir de funciones evidentes, cuyas fallas funcionales afectaran de forma importante a la producción o las operaciones (cantidad de producto, calidad del producto, calidad del servicio prestado al cliente, costos de operación y costos directos de reparación).

HOJA DE DECISIÓN

La hoja de decisión es un diagrama en donde respondiendo las preguntas correspondientes, ubica a cada modo de falla con su respectiva consecuencia.

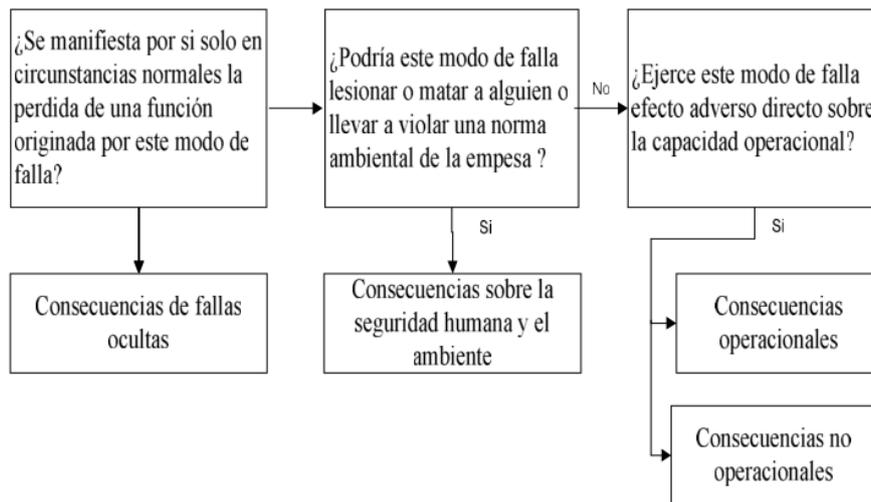


Figura N° 9 Hoja de decisión para la categorización de las consecuencias de modo de falla

Fuente: Fundamentos del mantenimiento(L. Bravo)

2.2.5 MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL:

A. GENERALIDADES:

TPM o mantenimiento productivo total es un enfoque japonés que pretende elevar la eficiencia de los equipos y la productividad de la empresa. Este modelo se basa en el trabajo en equipo, la proactividad, la mejora continua y en la realización de tareas sencillas y repetitivas para mejorar la competitividad.

La implementación del TPM tiene como beneficios la reducción de costos del mantenimiento, el incremento de la vida útil del equipo, el incremento del tiempo disponible de los equipos, el incremento de la motivación y la moral de los empleados. El TPM eleva la calidad del producto ya que mantiene a las máquinas en un correcto estado de funcionamiento evitando así productos defectuosos.

El TPM mejora el rendimiento de los equipos ya que mantiene la velocidad óptima de trabajo y elimina los tiempos muertos.

El TPM debe involucrar a todo el personal de la planta, personal que debe ser debidamente capacitado y motivado para que a través del mejoramiento continuo toda la empresa pueda beneficiarse. A pesar de que siempre hay una resistencia al cambio los principales involucrados deben ser los integrantes de la alta gerencia, estos deben adoptar como política de empresa la adaptación del TPM ya que de esta manera los supervisores y los operadores seguirán su ejemplo. Los cambios no vendrán de la noche a la mañana pero vale la pena el esfuerzo.

El TPM ha sido aplicado en muchas organizaciones para mejorar la productividad de la misma mediante la reorganización de procesos y operaciones, siendo reconocida como un arma estratégica para la competitividad.

El concepto del TPM puede fallar si es que no se toman las consideraciones adecuadas sobre la dinámica del TPM. El TPM tiene pilares que deben interactuar entre sí para el correcto funcionamiento del modelo.

- Mantenimiento para prevenir fallas.
- Prevención del mantenimiento.
- Mantenimiento autónomo.
- Entrenamiento de los operadores de los equipos.
- Eliminación de las 6 grandes pérdidas.

La estrategia de mantenimiento debe ser construida en base a estos pilares, ya que mediante técnicas de simulación, se ha notado que cada uno de ellos presenta gran incidencia en el comportamiento del modelo. Es necesario incluir en la estrategia, la evaluación del cambio de un modelo de mantenimiento para prevenir fallas a un modelo de prevención del mantenimiento.

2.2.6 FUNDAMENTOS DEL MANTENIMIENTO CONTEMPORANEO:

MEJORA CONTINUA:

“El mejoramiento continuo, basado en un concepto japonés llamado kaizen, es una filosofía que consiste en buscar continuamente la forma de mejorar las operaciones. A este respecto no se refiere únicamente a la calidad, sino también se aplica al mejoramiento de los procesos. El mejoramiento continuo implica la identificación de modelos (benchmarks) que hayan exhibido excelencia en la práctica, e inculcar en el empleado el sentimiento de que el proceso en su totalidad le pertenece.

EL CICLO DEMING :

Las siglas PHRA significan: Planear, Hacer, Revisar y Actuar. Se menciona que mientras los japoneses implementaban por todas sus empresas el modelo de kaizen y tomaban posicionamiento en mercados occidentales, las empresas occidentales no tomaban en cuenta el concepto de kaizen, a pesar que dichas empresas ya conocían y utilizaban el ciclo Deming, que trabaja de manera similar al ciclo PHRA y ambos se basan en la mejora continua, no fue suficiente para poder alcanzar un crecimiento tan acelerado y sólido como el que se vio en el Japón. Es que la mejora continúa no solo debe involucrar a los gerentes, debe involucrar a todo el personal y el personal debe sentirse parte de ella, deben enfrentarse a los problemas como un conjunto y no unitariamente para así evitar pasar los problemas al siguiente proceso.

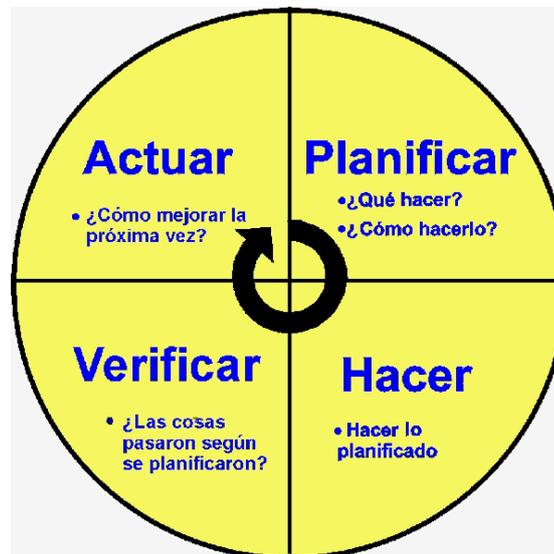


Figura N° 10 Ciclo Deming para la mejora continua

Fuente: Gestión de procesos.com

LAS 5 ESES:

Las 5 eses es una herramienta que mediante una serie de pasos nos puede ayudar a mejorar las acciones del área de mantenimiento. Esta metodología es una de las más conocidas y simples herramientas con las que se cuenta para solucionar problemas, siendo sus principales fortalezas la sencillez, el orden de los pasos a seguir, la versatilidad, la flexibilidad y la baja probabilidad de fracaso pues siempre se puede mejorar sobre los resultados obtenidos.

Los 5 términos de origen japonés significan lo siguiente:

Seiri : Organizar, clasificar, separar innecesarios.

Seiton : Ordenar eficientemente, situar necesarios.

Seiko : Limpieza e inspección, suprimir suciedad.

Sejiketsu : Estandarización, señalar anomalías.

Shitsuke : Cumplimiento o disciplina, seguir mejorando.

AUDITORÍAS DE MANTENIMIENTO :

No existe una única metodología para hacer auditorías; por eso, estos autores analizan varios documentos y proponen una metodología que tiene los siguientes pasos:

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA: Ésta es la auditoría de gestión, en esta etapa se deben explicar como es el funcionamiento de la empresa y en que sector se ubica, asimismo se deben de presentar los principales equipos con los que se trabaja y los planes de mantenimiento especificados por el fabricante.

EVALUAR EL DESEMPEÑO DEL SISTEMA: Ésta es la auditoría operativa, se deben evaluar los costos en los que se incurre para llevar a cabo el programa de mantenimiento. Asimismo se deben hacer pruebas al desempeño de la maquinaria. El personal juega un rol muy importante y es por eso que se debe analizar el sistema como un todo, máquinas y hombres, evaluando su confiabilidad.

PROVEER RECOMENDACIONES: Se deben identificar las inconformidades y las oportunidades de mejora.

Estas auditorías pueden realizarse con la ayuda de cuestionarios, radares, checklist y otros. Las auditorías ayudan a mejorar el rendimiento de la empresa y a aumentar su rentabilidad ya que toma datos importantes y precisos sobre los elementos claves en los que deben apoyarse las decisiones de la empresa, adaptando su definición a nuestro caso podríamos decir que las auditorías nos ayudarán a medir el impacto que tiene la mejora continua en el área de mantenimiento.

2.2.7 EVALUACION DEL MANTENIMIENTO:

A. INDICADORES DE DESEMPEÑO:

Un KPI, del inglés key performance indicator, conocido como indicador clave de desempeño, (o también indicador clave de rendimiento) es una medida del nivel del desempeño de un proceso; el valor del indicador está directamente relacionado con un objetivo fijado de antemano.

Los KPI suelen estar ligados a la estrategia de la organización (ejemplificadas en las técnicas como la del cuadro de mando integral). Los KPI son "vehículos de comunicación"; permiten que los ejecutivos de alto nivel comuniquen la misión y visión de la empresa a los niveles jerárquicos más bajos, involucrando directamente a todos los colaboradores en la realización de los objetivos estratégicos de la empresa. Tenemos los siguientes:

TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS (TMEF): Este valor nos indica el periodo de tiempo en el cual ocurre una falla , es conveniente que sea lo más largo o espaciado el periodo de tiempo en que ocurra una falla.

$$TMEF = MTBF = \frac{HTO}{NF} \dots \dots \dots (1)$$

Dónde:

HTO = Son la suma total de horas de operaciones efectuadas en un periodo de tiempo de análisis.

NF= Numero de fallas ocurridas en un periodo de tiempo analizado.

TIEMPO MEDIO PARA LA REPARACIÓN (TMPR): Este valor nos indica el periodo de tiempo de duración de la reparación de una falla , es conveniente que sea lo más corto el periodo de tiempo en que se realiza una reparación.

$$TMPR = MTTR = \frac{HTP}{NF} \dots \dots \dots (2)$$

Dónde:

HTP = Horas totales de parada o fuera de servicio

TIEMPO MEDIO PARA FALLAS (TMPF) :

Este indicador evalúa el periodo de tiempo en que dura una reparación con el periodo de ocurrencia de una falla u ocurrencia.

$$TMPF = MTTF = TMEF + TMPR \dots \dots \dots (3)$$

B. INDICADORES DE MANTENIMIENTO

DISPONIBILIDAD:

La disponibilidad de un equipo representa el tiempo disponible de un sistema al servicio de la unidad de producción, la cual se calcula en porcentaje en un tiempo determinado. Relación entre la diferencia de número de horas del período considerado (horas calendario) con el número de horas de intervención por el personal de mantenimiento, para cada ítem observado y el número total de horas del período considerado. La disponibilidad es una característica que resume cuantitativamente el perfil de funcionabilidad de un elemento.

Se evalúa según la siguiente ecuación:

$$Disponibilidad = \frac{HTO - HTP}{HTO} \dots \dots \dots (4)$$

CONFIABILIDAD:

Es la capacidad de un activo o componente para realizar una función requerida bajo condiciones dadas para un intervalo de tiempo dado.

$$Confiabilidad = \frac{TMEF}{TMEF + TMPR} \dots \dots \dots (5)$$

MANTENIBILIDAD:

Se puede definir como la expectativa que se tiene de que un equipo o sistema pueda ser colocado en condiciones de operación dentro de un periodo de tiempo establecido, cuando la acción de mantenimiento es ejecutada de acuerdo con procedimientos prescritos. En términos probabilísticas, se define la mantenibilidad como “la probabilidad de restablecer las condiciones específicas de funcionamiento de un sistema, en límites de tiempo deseados, cuando el mantenimiento es realizado en las condiciones y medios predefinidos”. O simplemente “la probabilidad de que un equipo que presenta una falla

sea reparado en un determinado tiempo. La mantenibilidad es la probabilidad de que un sistema que se encuentra en estado de falla sea restaurado a condiciones operacionales satisfactorias, en un tiempo de indisponibilidad especificado, excluyendo los turnos muertos.

$$\text{Mantenibilidad} = \text{TMPR} \dots \dots \dots (6)$$

FIABILIDAD:

Es la capacidad de los productos o servicios de comportarse en la forma requerida bajo condiciones establecidas y durante un tiempo establecido. Dicho de otro modo: permanencia de la Calidad de los productos o servicios a lo largo del tiempo. La fiabilidad no es más que la seguridad de funcionamiento de una pieza, órgano o máquina. Es el grado de confianza que puede concederse a un elemento, ateniéndose a la calidad de los materiales empleados, la perfección con que ha sido labrado, y la multiplicidad y cuidado de los controles y pruebas a que ha sido sometido. Cuando un elemento satisface a todas estas condiciones, se puede tener una seguridad casi absoluta en su funcionamiento. Para controlar este término durante el funcionamiento de las instalaciones se precisan de los llamados Grupos de Fiabilización.

$$\text{Fiabilidad} = \text{TMEF} \dots \dots \dots (7)$$

2.3 GESTION DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO:

2.3.1 GENERALIDADES:

La gestión del mantenimiento industrial moderno se presenta como un conjunto de técnicas para cuidar la tecnología de los sistemas de producción a lo largo de todo su ciclo de vida, llegando a utilizarlos con la máxima disponibilidad y siempre al menor costo, garantizando, entre otras cuestiones, una asistencia técnica eficaz a través de una buena formación y gestión de competencias en el uso y mantenimiento de dichos sistemas asegurando la disponibilidad planeada dentro de las recomendaciones de garantía y uso de los fabricantes de los equipos e instalaciones.

En una gestión de mantenimiento, la planificación y programación representan el punto de partida. Ella lleva involucrada la necesidad de imaginar y relacionar las actividades probables que habrán de cumplirse para lograr los objetivos y resultados esperados. A continuación se describen cada una de las etapas de la gestión de mantenimiento:

- PLANIFICACIÓN.

Es un proceso que consiste en la definición de rutinas y procedimientos y en la elaboración de planes detallados para horizontes relativamente largos, usualmente trimestrales o anuales, lo cual implica la determinación de las operaciones necesarias, mano de obra requerida, materiales a emplear, equipos a utilizar y duración de las actividades.

En la planificación del mantenimiento se debe considerar los siguientes aspectos:

Se deben tener establecidos objetivos y metas en cuanto a los objetos a mantener.

Se debe garantizar la disponibilidad de los equipos o sistemas.

Establecer un orden de prioridades para la ejecución de las acciones de mantenimiento.

Sistema de señalización y codificación lógica.

Inventario técnico.

Procedimientos y rutinas de mantenimiento.

Registros de fallas y causas.

Estadísticas de tiempo de parada y tiempo de reparación.

- **PROGRAMACIÓN.**

El proceso de programación consiste en establecer las frecuencias para las asignaciones del mantenimiento preventivo, las fechas programadas son esenciales para que exista una continua disponibilidad de equipos e instalaciones. Se inicia con la solicitud y envío de la orden de trabajo.

- **EJECUCIÓN, CONTROL Y EVALUACIÓN.**

Estos procesos vinculan dos acciones administrativas de singular importancia como son la dirección y la coordinación de los esfuerzos del grupo de realizadores de las actividades generadas en los procesos de planificación y programación cuya finalidad es garantizar el logro de los objetivos propuestos. En general la ejecución, el control y la evaluación, permiten que las actividades se realicen tal cual fueron planificadas.

2.3.2 PROGRAMA DE MANTENIMIENTO.

A. GENERALIDADES:

Se trata de la descripción detallada de las tareas de Mantenimiento Preventivo asociadas a un equipo o máquina, explicando las acciones, plazos y recambios a utilizar; en general, hablamos de tareas de limpieza, comprobación, ajuste, lubricación y sustitución de piezas. Crear un Programa de Mantenimiento para un Equipo o Máquina determinada es fácil, pero hacerlo bien es muy difícil. Intentaremos dar unas ideas básicas:

- Quien mejor conoce una máquina es su fabricante, por lo que es altamente aconsejable comenzar por localizar el manual de uso y mantenimiento original, y si no fuera posible, contactar con el fabricante por si dispone de alguno similar, aunque no sea del modelo exacto.
- Establecer un manual mínimo de buen uso para los operarios de la máquina, que incluya la limpieza del equipo y el espacio cercano.
- Comenzar de inmediato la creación de un Historial de averías e incidencias.
- Establecer una lista de puntos de comprobación, como niveles de lubricante, presión, temperatura, voltaje, peso, etc, así como sus valores, tolerancias y la periodicidad de comprobación, en horas, días, semanas, etc.
- Establecer un Plan-Programa de Lubricación de la misma forma, comenzando con plazos cortos, analizando resultados hasta alcanzar los plazos óptimos.
- Actuar de la misma forma con los todos sistemas de filtración y filtros del equipo, sean de aire, agua, lubricantes, combustibles, etc. Para establecer los plazos exactos de limpieza y/o sustitución de los filtros, nos ayudará revisarlos y comprobar su estado de forma periódica. Los filtros de cartucho pueden abrirse para analizar su estado, y comprobar si se sustituyeron en el momento justo, pronto o tarde.
- En cuanto a transmisiones, cadenas, rodamientos, correas de transmisión, etc, los fabricantes suelen facilitar un nº de horas aproximado o máximo de funcionamiento, pero que dependerá mucho de las condiciones de trabajo: temperatura, carga, velocidad, vibraciones, etc. Por lo tanto, no tomar esos plazos máximos como los normales para su sustitución, sino calcular esa sustitución en función del comentario de los operarios, la experiencia de los técnicos de mantenimiento, incidencias anteriores, etc.
- Crear un listado de accesorios, repuestos, recambios para el equipo, valorando el disponer siempre de un Stock mínimo para un plazo temporal 2 veces el plazo de entrega del fabricante, sin olvidar épocas especiales como vacaciones, etc.
- Siempre que sea posible, agrupar en el Plan o Programa de Mantenimiento las distintas acciones de mantenimiento preventivo que requieran la parada del Equipo o máquina, aunque los plazos no sean exactos, adelantando un poco los más alejados (por ejemplo, si establece el fabricante la comprobación de presión de un elemento cada 30 días, podemos establecerlo nosotros cada 28, para

coincidir con otras tareas preventivas del plazo semanal (7 x 4 semanas = 28 días).

- Si no disponen de un Software de Mantenimiento (ver empresas) con un mínimo conocimiento de ordenadores pueden crearse aplicaciones simples pero efectivas con programas como Access (bases de datos) y Excel (Hoja de Cálculo), que nos permitirán tener una ficha del equipo, con sus incidencias, paradas, averías, soluciones, repuestos usados, etc. Cuantos más datos recojan y guarden, más exacto podrán ser su Programa de Mantenimiento.
- Definir las especificaciones técnicas de los equipos críticos de la planta mediante el diseño de fichas técnicas donde se pudieran visualizar las características del equipo así como los repuestos de mayor criticidad para su inclusión en el stock de almacén.
- Definir un sistema de indicadores de mantenimiento que permitan controlar el estado de la gestión de mantenimiento en periodos de tiempo establecidos.
- Desarrollar formatos que permitan la recolección y el registro de la información necesaria para el establecimiento de históricos de información en cuanto a actividades de mantenimiento se refiere.
- Definir el conjunto de herramientas necesarias para el óptimo cumplimiento de las metas de mantenimiento.
- Desarrollar un plan de mantenimiento preventivo que permita la adopción de la doctrina de mantenimiento planificado y el incremento de la eficacia del trabajo realizado.

B. CRONOGRAMA:

Es una programación específica de las actividades de mantenimiento en el tiempo. Se puede trazar cronogramas a mediano y largo plazo, proyectando una visión para el desarrollo de la industria en forma efectiva.

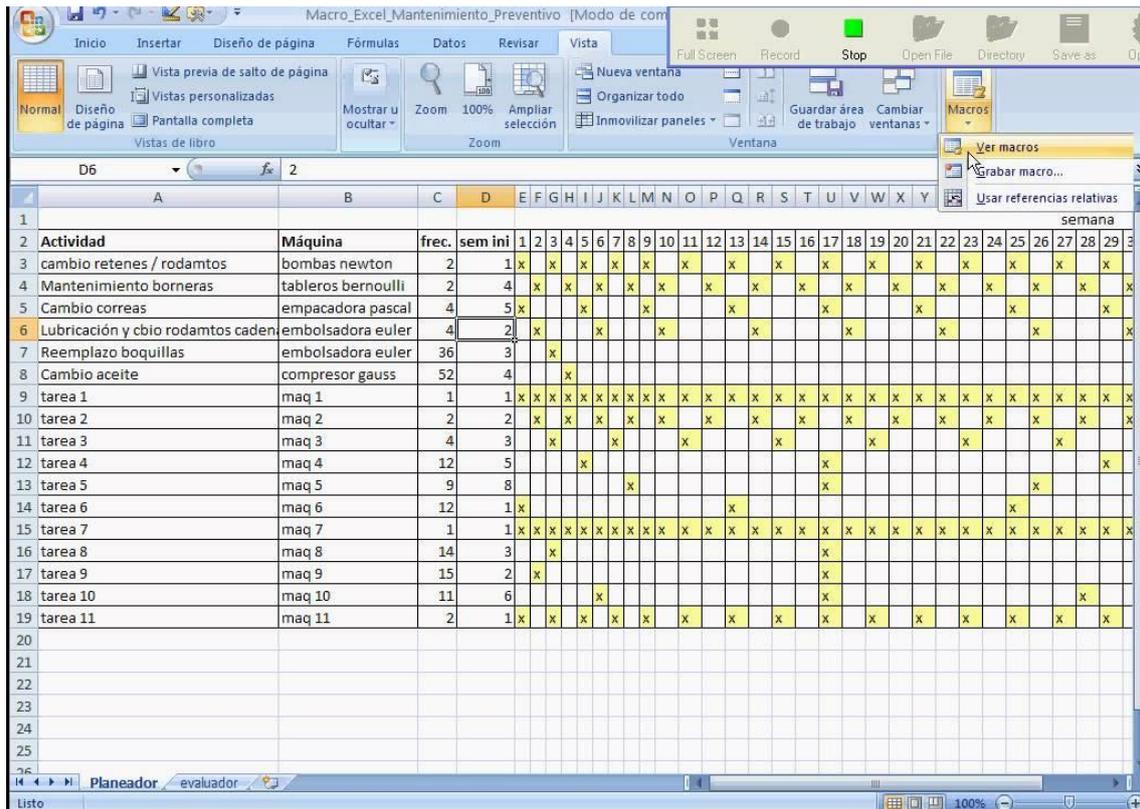


Figura N° 11 Cronograma de Mantenimiento

Fuente: Elaboración propia

C. PROGRAMACION DEL MANTENIMIENTO:

La programación se fundamenta en el orden de realización de las actividades de mantenimiento según los modelos planteados y tomando en cuenta la periodicidad; se basa en el orden en que se deben realizar los mantenimientos según su urgencia, disponibilidad del equipo de mantenimiento y del material necesario.

La programación del mantenimiento está dada según el equipo y la inspección que se realicen en la industria: esta programación es diaria, semanal, quincenal, mensual, etc.

OPERACIONES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO		PERIODICIDAD					
		D	H	M	T	S	A
1	Estado de los fusibles y señalizaciones.		x				
2	Tensión de servicio.		x				
3	Contactores, interruptores y disyuntores, verificando el funcionamiento y maniobra.					X	
4	Verificación y reapriete de conexiones eléctricas.					x	
5	Revisión general del cableado, comprobar calentamiento de los conductores.					x	
6	Limpieza general del panel.					x	
7	Revisión de pintura.					x	
8	Comprobación de equipos de medidas.					x	
9	Comprobación del correcto funcionamiento de los automáticos de protección.					x	
10	Verificación de puesta a tierra.					x	
11	Verificar aislamiento eléctrico y actuación del diferencial.					x	

Figura N° 12 Programación por periodicidad del mantenimiento

Fuente: Gestión de procesos.com

D. ADMINISTRACION DE REPUESTOS Y MATERIALES:

Se debe tomar en cuenta varios aspectos para una administración efectiva de repuestos y materiales:

Repuestos. En los repuestos a ser almacenados hay que considerar la vida útil del repuesto y el alto costo.

Materiales. Se considera consumibles y partes de uso general.

Para una gestión efectiva se considera un buen control de inventarios y una actualización continua. Además del almacenamiento de los mismos que debe ser en un lugar de fácil acceso, con una buena distribución y centralizado con el fin de movilizar en el menor tiempo posible en caso de mantenimientos emergentes[8] conviene tener en cuenta el beneficio y el valor potencial del repuesto para no asumir riesgos ni un inútil almacenamiento.

También se debe tomar en cuenta los presupuestos y las asignaciones requeridas para la obtención y almacenamiento de estos recursos para que el mantenimiento sea efectivo. En este punto se deben calcular, elaborar y controlar los presupuestos.

ORDEN DE TRABAJO		N°	
PRIORIDAD:		CUENTA N°	
REQUERIDO POR:	APROBADO POR:	FECHA:	
EQUIPO:			
DESCRIPCION DEL PROBLEMA:			
SUPERVISOR:		SECCION:	FECHA:
MATERIAL Y HERRAMIENTAS ESPECIALES NECESARIAS:			
COORDINADO POR:		DEPARTAMENTO:	
N° DE ORDEN DE IMPEDIMENTO DE LA OPERACION:		TIEMPO:	FECHA:
REGRESO A OPERACION: FECHA		HORA:	SUPERVISOR:
SERVICIO VERIFICADO: <input type="checkbox"/>		RESPONSABLE	
SUMARIO DEL SERVICIO EJECUTADO:			
FECHA DE TERMINACION DEL SERVICIO:			HORA:
COMENTARIOS SOBRE EL PROBLEMA:			
Horas-hombre estimadas	Horas-hombre reales	Nombres	Comentarios relativos al consumo de Horas-hombre

Figura N° 13 Orden de trabajo de mantenimiento

Fuente: Dpto. de Reparaciones KOMATSU DEL PERU

F. REPORTES:

Son documentos que informan el desempeño de los equipos o máquinas dentro de la industria y el modelo de mantenimiento que se le aplica, es decir un informe que se presenta periódicamente y según la cronología en que se aplique el mantenimiento a dicho elemento; permite evaluar y analizar las posibles averías, predecir y controlar periódicamente el comportamiento de equipo y maquinaria.

2.3.3 LOGISTICA DE MANTENIMIENTO:

Las actividades de mantenimiento pueden organizarse y administrarse de formas variadas. Para todas ellas son aplicables las características que señalamos a continuación, con excepción del TPM la cual constituye una filosofía especial de mantenimiento y que debe incluirse en los planes de producción.

En primer lugar, debemos decidir si el mantenimiento se realizará con personal propio o mediante tercerización, teniendo en cuenta que aún en este último caso, existirá por lo general, algún tipo de personal propio para atender urgencias.

La organización también depende de las modalidades de operación de la empresa, trabajo en uno, dos o tres turnos. Las tareas que pueden ser programadas se efectúan en las horas no dedicadas a producción a efectos de evitar las interferencias; los grupos nocturnos constituyen servicios de guardia cuando se labora en horas de la noche además de poder atender trabajos programados, etc.

Si se desea una buena efectividad de los equipos, será conveniente disponer de algún exceso en la dotación y capacitar operarios polivalentes de modo de que los mismos puedan ser empleados tanto en producción como en mantenimiento.

Asimismo, es bastante común que se estructure una división de la dotación según especialidades, por ejemplo, mecánica, electricidad, electrónica, instalaciones, civil, etc.

Por otra parte, dependiendo de la configuración física de la empresa, puede existir un único taller de mantenimiento o bien, un taller central en el cual reside la parte más importante del servicio, y talleres zonales que se encargan de tareas más sencillas o rutinarias.

En todos los casos, el apoyo administrativo es un requisito valioso de modo que la gran cantidad de datos del sistema permita una búsqueda e información eficientes.

La documentación técnica correspondiente a los distintos bienes, debe facilitar las tareas de mantenimiento y encontrarse perfectamente archivada y actualizada con las eventuales reformas o modificaciones que se le pudieran haber introducido. Estos bienes los identificamos a través de su código y los archivos deberán brindarnos datos como su denominación, fechas de compra e instalación, si es nacional o importado, marca, modelo, fabricante, distribuidor o representante, ubicación física, estado de conservación, grado de criticidad, características técnicas y expectativa de vida.

También se debe contar con archivos de las actividades de mantenimiento, con indicación del tipo de mantenimiento que les corresponde, su frecuencia, tiempo estándar o predeterminado para su ejecución, método de la actividad, normas, criterios y roles de prevención de la seguridad, repuesta y material a emplear, herramientas e instrumentos, especialidades y dotación necesarias.

Entre los documentos empleados, se cuentan las órdenes de trabajo (similares a las vistas anteriormente) y las órdenes de recorrida; estas últimas se aplican para "recorrer" un

sector definido de la planta o cierta clase de equipo, y realizar secuencialmente una serie de tareas de pequeña dimensión.

2.3.4 GESTION DE REPUESTOS:

Parte de la planificación del mantenimiento es el detalle de todos los materiales necesarios para realizar el trabajo, asegurando que estarán en stock y disponible antes de que el trabajo sea ejecutado.

Para los casos en que los materiales y repuestos sean de consumo constante, podemos valernos de las técnicas de gestión de inventarios que veremos más adelante.

Si en cambio su consumo muestra una alta aleatoriedad, es decir, momentos en que la demanda resulta muy baja o muy alta, debemos buscar ayuda en la estadística para gestionar adecuadamente los repuestos necesarios.

Más sencillamente se gestionan los materiales y repuestos que podemos contabilizar como necesarios para los trabajos que se ejecutan durante las paradas programadas. Podemos comprarlos con la debida anticipación (justo a tiempo) de modo de minimizar el costo total, resultante del costo de mantener inventario, más el costo de ordenar el mismo. Lo que no debemos perder de vista, es el grado de criticidad o de importancia de los equipos a los cuales estarían destinados estos materiales y las consecuencias que genere una falla no reparada en tiempo.

El control de las piezas de repuesto ha de cumplir los siguientes propósitos:

- Promover una mayor fiabilidad del equipo y alargar su vida útil.
- Asegurar que estén disponibles en el momento preciso y reducir de esta forma los tiempos muertos.
- Reducir los costes de almacenamiento.

La clasificación es el primer paso en la gestión y el control de los materiales de mantenimiento. Los materiales innecesarios han de ser eliminados. El departamento de producción es el responsable del almacenamiento, depósito y control de materiales operativos, así como de las herramientas de medición y consumibles.

El departamento de mantenimiento también se encargará de un almacén en el que se guardarán: equipos de reserva, piezas de repuesto, reservas en stock permanente, piezas reutilizables y herramientas de mantenimiento. Los artículos se clasifican en comunes o prioritarios. Los artículos prioritarios son las piezas cuya falta de disponibilidad ocasionaría importantes pérdidas de producción o piezas que representan una gran inversión.

Para el control diario del stock permanente se necesitan dos cantidades, el punto de pedido y la cantidad de pedido. Cuando las piezas se consumen se pasa inmediatamente un pedido de la cantidad fija (con las piezas recuperadas es importante aumentar la eficiencia de la restauración). En stock también permanecerán las piezas que tras una reparación puedan utilizarse, ya que la reparación de piezas caras supone un ahorro importante. Control de presupuesto de mantenimiento y reducción de costes de mantenimiento. El mantenimiento tiene un costo. Este costo es consecuencia del tiempo que los trabajadores emplean para realizar las revisiones generales, el material y el tiempo utilizado para reparaciones.

2.3.5 ORGANIZACIÓN DEL AREA DE MANTENIMIENTO:

La industria en general esta constituida por áreas o departamentos organizados y sincronizados encargados de gestionar factores o recursos productivos, trabajo, capital y recursos naturales, para producir bienes y servicios que después se venden en el mercado. Una de esas áreas, es mantenimiento cuya función se extiende al conjunto de la organización, manteniendo una estrecha relación con el resto de las áreas funcionales.

Un deficiente funcionamiento de la gestión de mantenimiento puede condicionar seriamente la calidad del producto final, la eficacia del proceso de producción o la situación financiera de la empresa, por lo que cualquier acción orientada al objetivo del área de mantenimiento ha de contemplar, necesariamente, las exigencias del resto de las áreas de la empresa.

Como se ha expuesto las actividades de mantenimiento según el o los tipos de mantenimiento que se implemente deberá tener ubicación adecuada a las responsabilidades y actividades asignadas, pudiendo tenerse de manera genérica las siguientes:

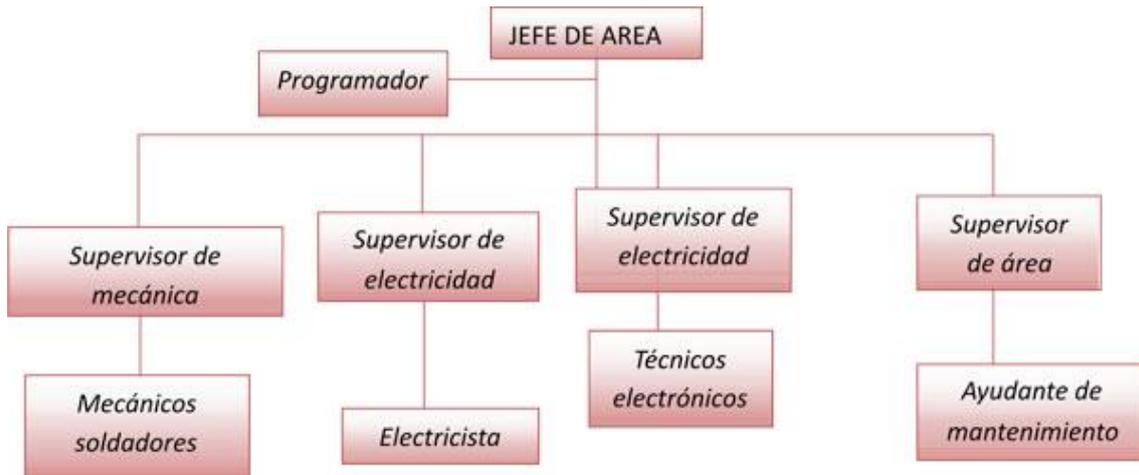


Figura N° 14 Organigrama del área de mantenimiento

Fuente: Revista de Mantenimiento total

2.3.6 PERSONAL DE MANTENIMIENTO:

Las tareas de mantenimiento pueden ocupar a personal de diversas áreas, según la organización empresarial y según el tipo de bienes a mantener. El mismo puede ser propio o ser contratado total o parcialmente con empresas especializadas mediante tercerización.

La empresa debe decidir si todas las tareas las realizará el sector de mantenimiento o si, siguiendo la tendencia actual, se inclinará por el **TPM** en el que los operarios de producción realizan el mantenimiento liviano.

El personal interno puede tener su base de tareas en el único taller existente o bien en talleres zonales dependientes del primero, según tamaño, extensión, complejidad y localización de las áreas o bienes a mantener. En este último caso, intervendrá en las emergencias excepto imposibilidad técnico-operativa para ello.

En los casos de operación durante las 24 horas, debemos mantener una guardia nocturna para actuar ante emergencias.

Un buen servicio de mantenimiento debiera tener una parte de su tiempo ocioso o en tareas de planeamiento del mantenimiento, o en tareas de producción, con el objetivo de disminuir los costos de parada dado que el servicio debe prestarse de inmediato, especialmente sobre los equipos críticos e importantes.

Si se aumenta la dotación, se reducirán las demoras hasta un punto en que existirá un adecuado balance entre recursos y lucro cesante, resultando un costo total mínimo o cercano al mínimo.

Las instalaciones productoras de bienes y servicios, son generalmente estudiadas, entre otros, con el objetivo de satisfacer de la mejor manera posible el flujo de los materiales y productos y poca atención se le presta o prestaba durante la fase de proyecto, a las tareas de mantenimiento, las que de por sí son muchas veces complejas y complicadas.

Con el paso del tiempo, las tareas se acomplejan y complican aún más a poco que tengamos en cuenta que un establecimiento con 15/20 años de explotación, rara vez es conservado en idénticas condiciones que las de diseño.

Así aparecen modificaciones por cambio de procesos, de tecnologías, de productos, de materias primas e insumos, de maquinarias, de metodología de trabajo, de distribución en planta, etc.

Como dichas modificaciones no son estudiadas en forma integral, sino que sólo son adecuaciones del sistema de producción, las condiciones iniciales de mantenimiento, de por sí complejas, se agravan con los cambios que se van introduciendo y ya no aparece un lote compacto de unidades de producción que en su instalación inicial eran idénticas.

2.3.5 HERRAMIENTAS DE GESTION :

A. REPORTES DE FALLAS:

El reporte de fallas es una de las actividades de mayor importancia en la gestión de mantenimiento de una planta, puesto que permiten al personal de la planta poder establecer un histórico capaz de servir como fuente de información para predecir fallas según las frecuencias de las mismas; además de que mantener un control de las fallas en las que incurre un equipo permite que la misma pueda ser estudiada más a fondo y solventada en su totalidad.

El formato que propone esta gestión de mantenimiento para el reporte de las fallas incurridas durante el proceso productivo se centra en el tipo de falla y las acciones tomadas por quienes atienden el acontecimiento; está conformado de la siguiente manera:

ÁREA: Se registra el área de la planta al cual pertenece el equipo.

EQUIPO: En este recuadro se debe asignar el nombre del equipo.

CÓDIGO: Aquí se mencionara el código del equipo que presento la falla, este código es el establecido por la codificación de la planta.

FECHA DE LA FALLA: En este recuadro se deberá registrar la fecha exacta en la que ocurrió la falla.

HORA DE LA FALLA: En este recuadro se deberá registrar la hora exacta en la que ocurrió la falla.

DESCRIPCIÓN DE LA FALLA: Este espacio es destinado a la descripción total de la falla y todo lo que se conozca en cuanto a sus causas y consecuencias; esto permitirá el estudio de la misma y definir de que manera está afectando el proceso productivo.

FRECUENCIA DE LA FALLA: La finalidad de registrar la frecuencia de la falla esta en determinar si la misma ha ocasionado pérdidas excesivas en la producción tanto en tiempo como en producto terminado; una falla en donde estos valores sean muy elevados debe ser solventada inmediatamente pues la misma podría significar muchas más pérdidas de las ya establecidas.

ACCIONES TOMADAS: Este recuadro va dirigido a la persona que acude a revisar la falla para registrar las actividades realizadas para solventar la misma.

ACCIONES RECOMENDADAS: Este recuadro también va dirigido a la persona que acude a revisar la falla para registrar las actividades sugeridas para evitar incurrir en la misma falla en futuras oportunidades.

PERSONAL INVOLUCRADO: En toda actividad de mantenimiento es importante que se registre el personal que participo en la misma pues el será testigo fiel de todas las actividades realizadas podrá ser parte de la solución mediante sus ideas y sugerencias.

FECHA Y HORA DE ENTREGA DE EQUIPO: Luego de intervenido el equipo que ha fallado es necesario que se registre la fecha y hora exacta en que se entrego con la intención de calcular el tiempo que estuvo sin funcionar y las pérdidas de producción de las que pudo ser principal causante.

TIEMPO DE PARADA: Se destina este recuadro al registro del cálculo del tiempo que estuvo inhabilitado el equipo.

ESTADO: Aquí se debe registrar el resumen total de si la falla se solucionó o no pues el mantenedor deberá decir si el equipo se entregó funcionando o sin funcionar. Esto permitirá deducir si las acciones tomadas fueron las correctas y permitirá la toma de decisiones más rápido en caso de que la falla vuelva a presentarse.

Tipo: _____ Marca: _____ Fecha: _____
 Asignado a: _____ Modelo: _____ Ficha: _____

Lugar de la avería _____
 Hora de la avería _____
 Estatus del equipo o vehículo:

Parado
 En operaciones
 Puede trasladarse

Descripción de la avería _____

Causa de la avería _____

Para uso Interno
 Reporte No. _____ Reportado por _____
 Recibido en fecha _____ Nombre _____

Figura N° 15 Reporte de fallas
 Fuente: Dpto. de Servicios Empresas GZ Ingenieros

B. DIAGRAMA DE PARETO

El Principio de Pareto afirma que en todo grupo de elementos o factores que contribuyen a un mismo efecto, unos pocos son responsables de la mayor parte de dicho efecto. El Análisis de Pareto es una comparación cuantitativa y ordenada de elementos o factores según su contribución a un determinado efecto. El objetivo de esta comparación es clasificar dichos elementos o factores en dos categorías: Las "Pocas Vitales" (los elementos muy importantes en su contribución) y los "Muchos Triviales" (los elementos poco importantes en ella). El objetivo del Análisis de Pareto es utilizar los hechos para identificar la máxima concentración de potencial del efecto en estudio (Magnitud del

problema, costes, tiempo, etc) en el número mínimo de elementos que a él contribuyen. Con este análisis buscamos enfocar nuestro esfuerzo en las contribuciones más importantes, con objeto de optimizar el beneficio obtenido del mismo.

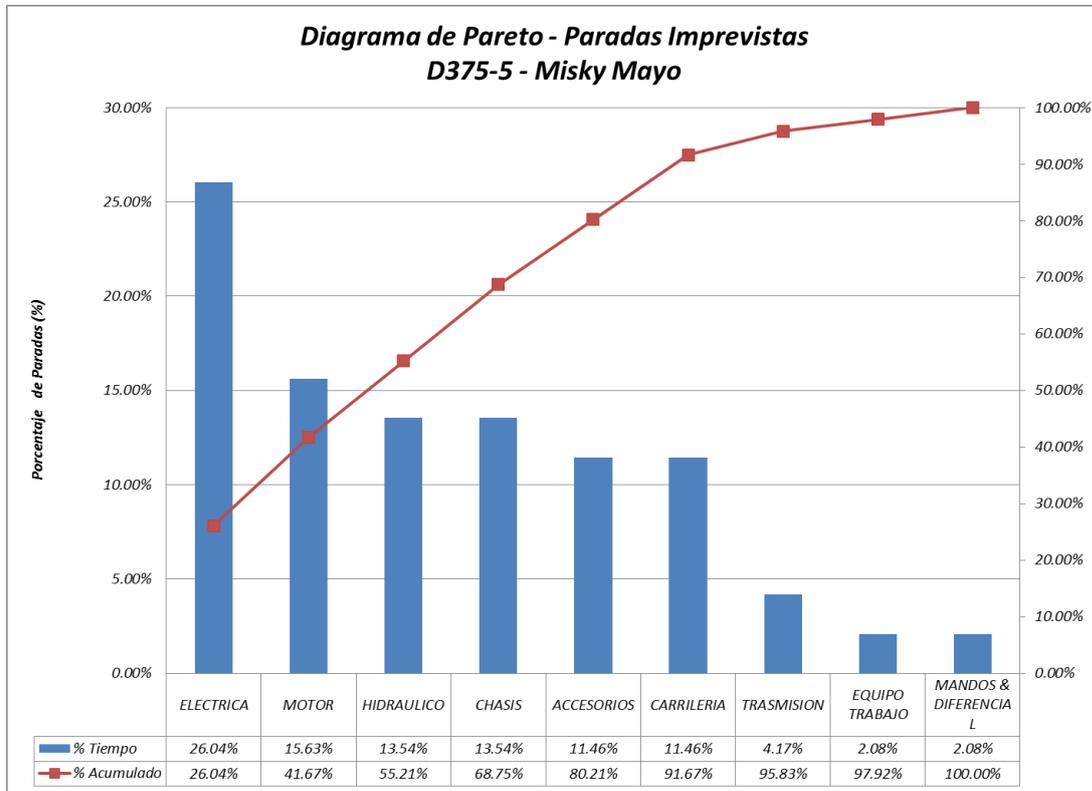


Figura N° 15 Diagrama de Pareto de fallas imprevistas

Fuente: Tesis(Jhon Duellas)

2.4 ANALISIS ENERGETICO:

2.4.1 AUDITORIA ENERGETICA:

Una auditoría o un diagnóstico energético es una inspección, estudio y análisis de los flujos de energía en una planta consumidora de energía (empresa de servicio o productiva), proceso o sistema con el objetivo de comprender la dinámica de la energía del sistema bajo estudio. Normalmente una auditoría energética se lleva a cabo para buscar oportunidades para reducir la cantidad de energía de entrada en el sistema sin afectar negativamente la salida. Cuando el objeto de estudio es un edificio ocupado se busca reducir el consumo de energía, manteniendo y mejorando al mismo tiempo el confort, la salubridad y la seguridad. Más allá de la simple identificación de las fuentes de energía,

una auditoría energética tiene por objeto dar prioridad a los usos energéticos de acuerdo con el mayor a menor costo efectivo de oportunidades para el ahorro de energía.

Es la aplicación de un conjunto de técnicas que permite determinar el grado de eficiencia con la que es utilizada la energía. Consiste en el estudio de todas las formas y fuentes de energía, por medio de un análisis crítico en una instalación consumidora de energía, para así, establecer el punto de partida para la implementación y control de un Programa de Ahorro de Energía, ya que se determina dónde y cómo es utilizada la misma, además de especificar cuanta es desperdiciada.

2.4.2 INDICADORES ENERGETICOS:

Los Indicadores Energéticos, también conocidos como consumos específicos, ratios energéticos, números energéticos característicos son parámetros que nos permiten medir la eficiencia energética en términos de comparar las unidades de energía consumida o su equivalente en volumen o la facturación de esta en relación a las unidades productivas o de servicio generadas.

Estos se construyen en función a las características de cada planta consumidora de energía analizada, sistema, maquina o proceso, así tenemos indicadores energéticos:

INDICADOR ENERGETICO N°1

$$IE = \frac{\text{Galones de Biodiesel/mes}}{\text{Horas totales operativas/mes}} \dots \dots \dots (8)$$

INDICADOR ENERGETICO N° 2

$$IE = \frac{\text{Galones de Biodiesel/mes}}{\text{Mantenibilidad (horas)}} \dots \dots \dots (9)$$

INDICADOR ENERGETICO N° 3

$$IE = \frac{\text{Galones de Biodiesel/mes}}{\text{Fiabilidad (horas)}} \dots \dots \dots (10)$$

INDICADOR ENERGETICO N° 4

$$IE = \frac{\text{Galones de Biodiesel/mes}}{\text{Numero de fallas}} \dots \dots \dots (11)$$

2.5 MAQUINARIA PESADA DE MINERIA PARA MOVIMIENTO DE TERRENO:

2.5.1 EXCAVADORAS:

A. GENERALIDADES:

Se denomina pala excavadora a una máquina autopropulsada, sobre neumáticos u orugas, con una estructura capaz de girar al menos 360° (en un sentido y en otro, y de forma ininterrumpida) que excava terrenos, o carga, eleva, gira y descarga materiales por la acción de la cuchara, fijada a un conjunto formada por pluma y brazo o balancín, sin que la estructura portante o chasis se desplace.

La excavadora se utiliza habitualmente en obras para el movimiento de tierras, para realizar rampas en solares, o para abrir surcos destinados al pasaje de tuberías, cables, drenajes, etc, así como también para preparar los sitios donde se asientan los cimientos de los edificios.

La máquina hunde sobre el terreno una "cuchara" con la que arranca los materiales que arrastra y deposita en el interior de la misma.

El chasis puede estar montado sobre un sistema de orugas o bien sobre neumáticos. En este último caso están provistas de gatos hidráulicos para fijar la máquina al suelo.

La excavadora, a diferencia de la retroexcavadora frontal, incide sobre el terreno excavando de arriba hacia abajo. Es utilizada para trabajar el movimiento de tierras a nivel inferior al plano de apoyo, o un poco superior a éste.

Su brazo hidráulico posee tanta fuerza, que es capaz de levantar la máquina a sí misma.

Sus partes principales son:

- Chasis: estructura portante desplazable mediante cadenas o ruedas neumáticas. En el caso de ser de ruedas llevará unos estabilizadores para constituir las bases de apoyo.
- Corona de giro: sirve de apoyo de la estructura sobre el chasis, permitiendo a ésta girar mientras el chasis permanece en estación. De dentado exterior o interior atacad por un piñón con motor independiente y dotada de freno.

- Estructura: sostiene el resto de la excavadora (motores, transmisiones, cabina, contrapeso, etc).
- Cuchara: fija o móvil y dispuesta en el extremo de un brazo móvil soportado por una pluma también móvil.
- Energía motriz: motor diésel, diésel-eléctrico o eléctrico.
- Sistemas de accionamiento: cilindros hidráulicos en su mayoría aunque también existen por cables y cabestrantes, transmisiones mecánicas, cilindros neumáticos, etc.

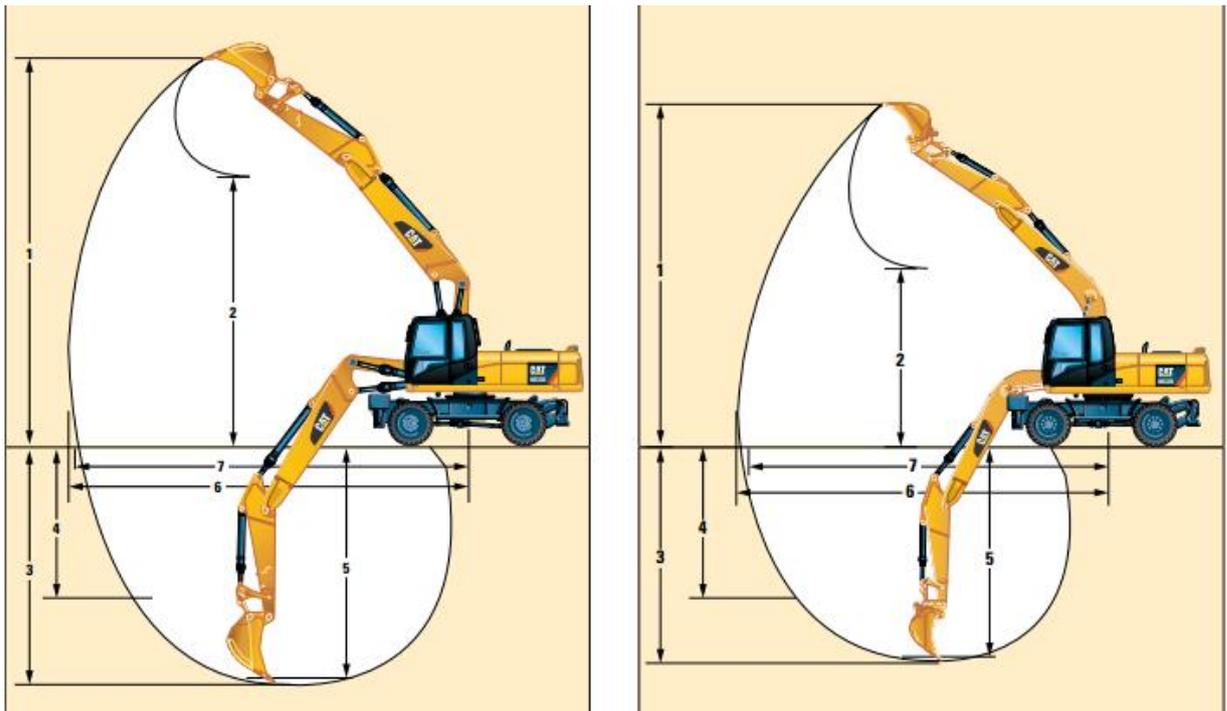


Figura N° 16 Amplitud de trabajo de excavadora 322D

Fuente: CAT

B. DETALLES:

CONTROL DE LA MAQUINA

El sistema de comandos que existe en la retroexcavadora se ha desarrollado para que las posiciones de trabajo que posee el operador sean más personalizadas con ajustes longitudinal y lateral lo cual asegura la precisión de los movimientos minimizando así el esfuerzo físico del operador. Disminuyendo así los riesgos que sufra accidentes dentro de la cabina, lo es rentable tanto para la empresa como para el operador.

ENFRIAMIENTO:

Un motor hidráulico de control electrónico impulsa un ventilador de actuación proporcional a la demanda de velocidad variable para el refrigerante del motor y el aceite hidráulico. La velocidad óptima del ventilador se determina según la temperatura del refrigerante y del aceite hidráulico, lo que da como resultado una reducción en el consumo de combustible y menores niveles de ruido. El control electrónico del motor compensa de forma continua la carga variable del ventilador, lo que proporciona una potencia neta constante, a pesar de las condiciones de operación

TRANSMISIÓN

La transmisión de cuatro velocidades sincronizadas que poseen las excavadoras permite al operario cambiar rápidamente y con suavidad entre avance y retroceso. Esto elimina las cargas por sacudidas en los componentes del árbol de transmisión, aumenta la comodidad del operario y proporciona un control superior de la manipulación de la carga. Un botón de volcado de la transmisión dispuesto en la palanca multifunción de la cargadora permite al operario acortar los tiempos de carga dirigiendo toda la potencia del motor a la cargadora para aumentar la productividad.

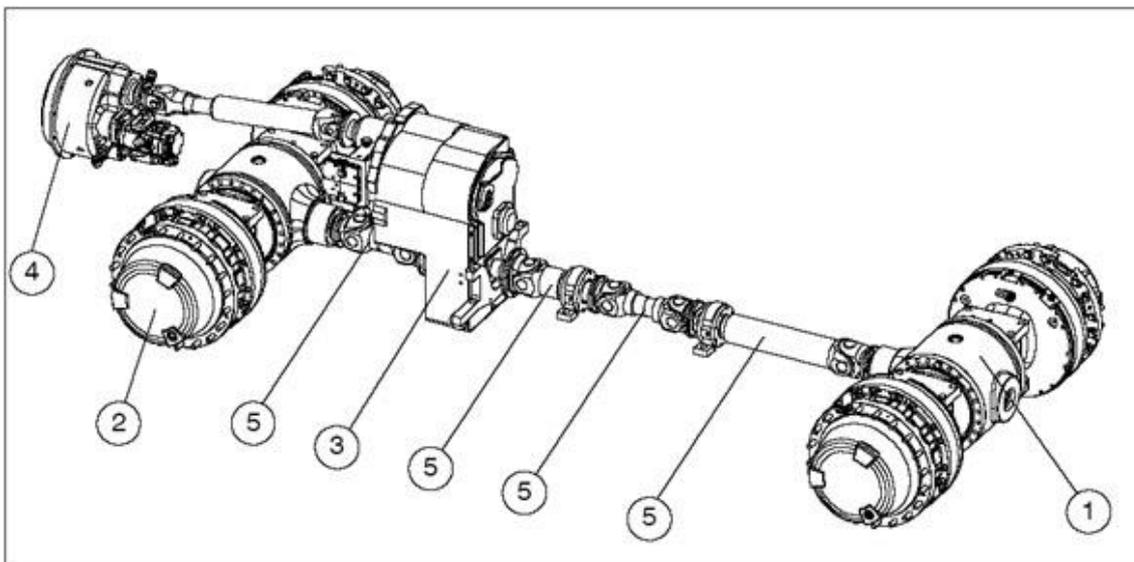


Figura N° 17 Sistema de transmisión mecánica de retroexcavadora

Fuente: CAT

CABINA

La cabina de las retroexcavadoras cuenta con visibilidad panorámica, todos los mandos se encuentran situados de manera ergonómica y el nivel de ruido interior es muy bajo en

la cabina. En términos de seguridad la cabina lleva un inmovilizador electrónico que trunca las funciones del motor. Estas funciones, sin duda no las traen todas las retroexcavadoras, pero si las de última generación, a las cuales apunta este informe.

MOTOR:

Los motores usados tanto por la excavadora como otras máquinas destinadas a trabajo pesado son de tipo diesel, usan este tipo de motor por su potencia y por costo debido a que es más barato el combustible

Los motores diesel la característica particular que poseen es que aspiran aire puro, sin mezcla de combustible, en el tiempo de compresión el aire se comprime con lo que alcanza una temperatura extraordinariamente alta, estos motores son muy largos y costosos pero resultan muy regulares y potentes a la hora de su ejecución es por eso que son usados en este tipo de maquinaria. Los componentes básicos de la tecnología ACERT son el suministro de combustible, la administración de aire y el control electrónico. La tecnología ACERT optimiza el rendimiento del motor mientras cumple con las normas TIER 3 de la EPA sobre emisiones del motor. El Motor Cat C6.6 en el modelo M322D suministra una potencia bruta máxima de 129 kW (173 hp) a una velocidad nominal de 2.000 rpm.



Figura N° 18 Sistema motriz de excavadora 322D

Fuente: CAT

SISTEMA HIDRÁULICO

El sistema hidráulico con detección de carga proporciona tiempos de ciclos rápidos, mayor capacidad de levantamiento y altas fuerzas del cucharón y el brazo, a fin de

maximizar la productividad en cualquier trabajo.

Tenemos las siguientes características:

Bomba de giro dedicada: Una bomba de pistones de desplazamiento variable y el motor de pistones de desplazamiento fijo dan potencia al mando de giro. Este circuito hidráulico cerrado maximiza el rendimiento de giro sin reducir la potencia a las demás funciones hidráulicas, lo que produce movimientos combinados más suaves.

Modalidad de levantamiento pesado: Esta modalidad maximiza el rendimiento de levantamiento al aumentar la capacidad de levantamiento de la excavadora en un 7%.

Detección hidráulica ajustable: Esta función permite al operador ajustar el nivel de agresividad de la máquina según la aplicación. Para trabajos de precisión, se puede seleccionar previamente uno de cuatro niveles diferentes de agresividad.

Sistema hidráulico auxiliar proporcional :La versatilidad del sistema hidráulico se puede expandir para utilizar una amplia variedad de herramientas hidráulicas mediante múltiples opciones de válvula. La válvula de combinación múltiple es el componente principal del sistema de control de la herramienta, lo que permite al operador seleccionar hasta diez herramientas preprogramadas en el monitor. Estos parámetros hidráulicos predeterminados son compatibles con el flujo unidireccional o bidireccional. Los interruptores deslizantes de la palanca universal permiten el control modulado de la herramienta



Figura N° 19 Sistema hidráulico y controlador de cargador

Fuente: CAT

Las excavadoras se emplean para subir zanjas por regla general se montan sobre la traseras del tractores industriales, tales como las cargadoras frontales o los bulldózer.

El aceite agresión para maniobrar la rexcavadora lo suministra el sistema hidráulico del tractor. Cuando se trata de sistemas hidráulicos abiertos. Se suele utilizar una válvula selectora con la que el aceite se dirige al circuito que esta trabajando, la válvula selectora corta el paso del aceite a la cargadora frontal chupado se trabaja con la retroexcavadora con los sistemas hidráulicos cerrado o de caudal variable no hace falta esta válvula porque entrega aceite a presión.

El operador manda la excavadora por medio de palancas actuando sobre válvulas que mandan el aceite a presión al correspondiente cilindro para mover el aguijón, el cucharón, el brazo excavador o los estabilizadores, los cilindros hidráulicos son de doble de acción para poder trabajar a plena fuerza en ambos sentidos, el Aguijon se puede girar a un lado y otro por medio de un cilindro especial objeto de vaciar el cucharón fuera de la zanja.

- (1)Cilindro del brazo del cucharón
- (2)Cilindro del aguijón
- (3)Palanca de mando de la retroexcavadora
- (4)Válvula de mando de la retroexcavadora
- (5)Cilindro de giro del aguijón
- (6)Cilindro de estabilizado izquierdo
- (7) Cilindro del cucharón

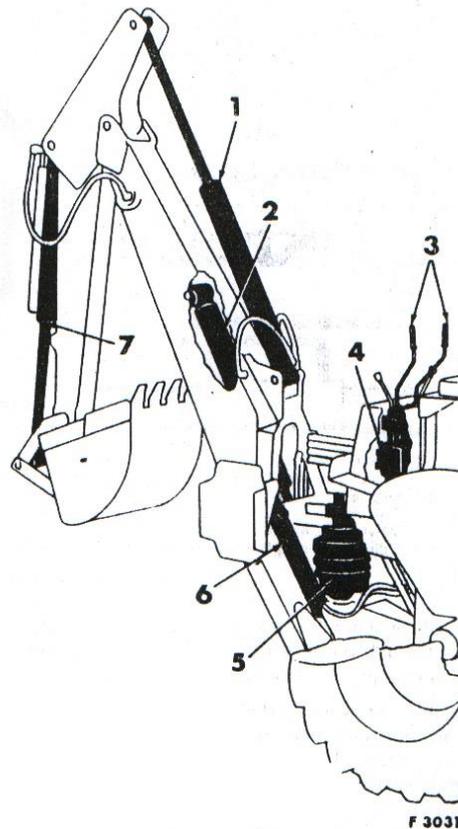


Figura N° 20 Componentes de maniobra de retroexcavadora

Fuente: CAT

2.5.2 VOLQUETES:

A. GENERALIDADES:

Los camiones de volquete articulado se utilizan para mover la arena, el suelo, la grava, y la roca. Están entre las más recientes adiciones al sector de la construcción, con la mayoría de los adelantos y demandas ocurriendo durante las dos décadas anteriores. Un camión de volquete articulado también es útil para volcar material en un volquete, salva la redundancia de su nombre.

El camión volquete articulado consiste en un camión con remolque con un marco articulado y un componente trasero para la descarga. Los fabricantes típicamente ofrecen las configuraciones de transmisión 4X4, 6X6, ó 6X4.

La primera unidad articulada puede remontarse hasta el año 1940. Las unidades fueron diseñadas para halar raspadores y más adelante fueron apareados en la parte inferior para los propósitos de descarga. Los fabricantes como Allis-Chalmers, Caterpillar, e IH

comenzaron a poner en marcha versiones de estos camiones transportadores para sus transportadores primarios de raspadores.

En los años 1950, los fabricantes comenzaron a ofrecer tractores con camiones reforzados sujetos a la parte posterior. La combinación del camión/tractor marca los principios tempranos de camión volquete articulado actual.

El Caterpillar D550B fue el camión volquete articulado más grande de la industria cuando fue producido en 1987.

El eyector Caterpillar D400E, producido en 1996, era el primer camión descargador desarrollado. Tenía una capacidad de 40 toneladas y contenía un motor de 405 caballos de fuerza de rueda volante. Era único debido a su seguridad para descargar, pues podía descargar sin aumentar el centro de gravedad.



Figura N° 21 Camión volquete CAT 740

Fuente: CAT

El Caterpillar 740, producido en el 2001, era conocido por sus nuevas características: altos caballos de fuerza al cociente de peso, transmisión electrónica, y freno de compresión de motor que hizo del freno cuesta abajo mucho más fácil. El vehículo de 40 toneladas también consistió en un radiador montado en la parte trasera de la cabina para mejorar la visibilidad.

El Caterpillar 777G con una capacidad nominal de 100 TM de carga bruta ,es el camión de obras de mayor utilidad en el sector minero peruano contándose entre 800 unidades entre las marcas CAT y su homólogo KOMATSU , quien han reemplazado a la mayor parte de la flota usada.

B. DETALLES :

Debido al simple diseño del camión volquete articulado, otro equipo se puede montar fácilmente en el chasis al lado del cuerpo de descarga trasero, incluyendo:

Tanques de agua Cargadores de troncos y tuberías Camiones de combustible Plumas hidráulicas Barrenas Camiones especiales (para el transporte de viruta y de carbón)

Otros avances incluyen los controles y diagnósticos electrónicos, motores de más altos caballos de fuerza, el diseño del marco, y una selección de engranaje más suave.

Todos los camiones volquete articulados tienen una articulación de oscilación situada entre la cabina y el cuerpo del camión. Esto permite que el camión se mueva por separado del cuerpo.

El camión volquete articulado se diseña para la productividad máxima, lo cual hace mucho más eficiente que la mayoría del equipo cuando se trata de acarrear tierra, roca, y grava. Saliente a su éxito es la capacidad del operador de elegir una transmisión 4X4 o de seis-ruedas, dependiendo de las condiciones del terreno. Esta característica hace de los camiones volquetes articulados especialmente eficientes para el trabajo en arena o fango profundo.

La técnica de dirección articulada permite dar vueltas más apretadas y un mejor movimiento, una característica especialmente importante dentro de áreas difíciles-de-manejar. Los operadores pueden tener un mejor control de la maquinaria con el uso de los sistemas de retraso (frenos de escape, retardadores de transmisión).

Cuadro N° 2 Capacidad de camiones volquete

capacidad de volquete (tn)	tipo de transmisión
<100	mecánico
100 a 180	mecánico o eléctrico
>180	eléctrico

Fuente : Dpto. de Ventas CAT

C: COMPONENTES:

MOTORES:

Los motores que montan los volquetes son diesel, generalmente, turboalimentados y con postenfriador. El turbo eleva el caudal de entrada de aire, lo que permite elevar la alimentación gas-oily en consecuencia, la potencia. El postenfriador permite que esa inyección de aire se haga a una temperatura adecuada, lo que mejora el rendimiento energético elevándola potencia del moto

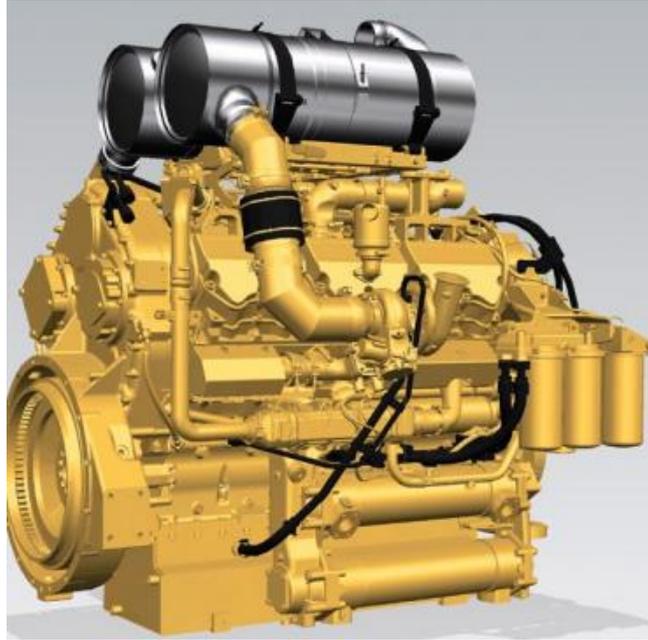


Figura N° 22 MCI de Camión volquete CAT 777G ACER de 12 Cilindros en V

Fuente: CAT

TRANSMISIÓN MECÁNICA

Los principales componentes de la transmisión mecánica son: el convertidor de par, caja de cambios, el diferencial y los mandos finales. Las características de los volquetes con transmisión mecánica son:

- Transmisión totalmente automática diseñada para minimizar los impactos en la línea de accionamiento lo que proporciona mayor confort del operador y reduce los esfuerzos de tensión sobre los componentes.
- De tres a seis marchas hacia adelante y una hacia atrás.
- Transmisiones fabricados para una duración de 5000 a 8000 horas antes de ser reconstruidas o reemplazadas.
- Convertidores de par capaces de proporcionar altos pares de arranque y constituidos por tres componentes.
- Retardadores hidráulicos para disminuir la necesidad de frenado.
- Ejes de mando finales con duraciones entre 15000 a 18000 horas.
- Diferenciales con vidas en servicio superiores a 12000 horas.
- Mandos finales para reducir los esfuerzos de torsión en los ejes y diferenciales y con duraciones entre 18000 a 20000 horas.

TRANSMISION ELECTRICA:

Un generador de corriente continua de hasta 1000 HP y alternador rectificador para unidades de mayor potencia.

Sistema de control de estado sólido.

Sistemas de refrigeración para disipar el calor generado en las resistencias durante la utilización del freno dinámico.

Motores de corriente continua en cada rueda o en cada eje para los volquetes de mayor capacidad.

El modulo motor que incluye los engranajes de reducción y el freno.

Los soplantes para los generadores y motores.

BASTIDOR: El bastidor principal o chasis esta construido con elementos de acero de alta resistencia capaces de soportar los importantes esfuerzos de torsión, flexión e impactos de los numerosos ciclos de carga, acarreo y descarga

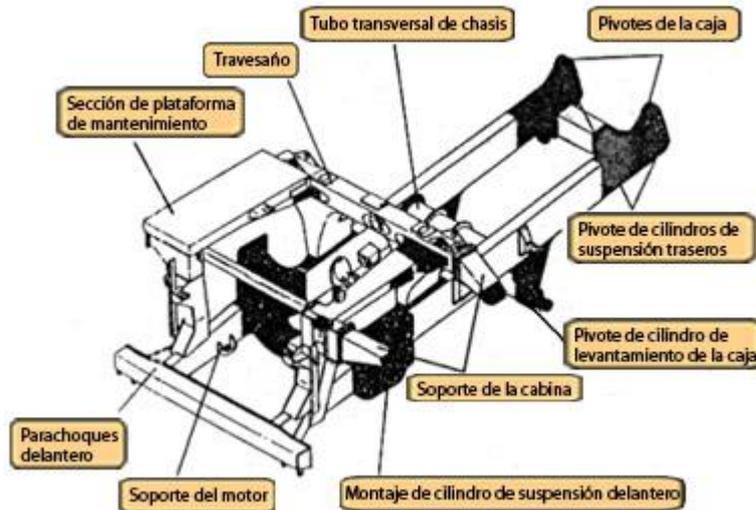


Figura N° 23 Bastidor de camión volquete CAT 740

Fuente: CAT

CAJAS : Las cajas de los volquetes están construidas de planchas de acero de alto límite elástico (1300 MPa) que proporcionan una elevada resistencia a los impactos y al desgaste.

3.3.4. Suspensión El sistema de suspensión de un volquete minero no solo debe

absorber las oscilaciones y vibraciones causadas por las desigualdades del terreno, sino también debe amortiguar los golpes durante la carga y distribuir el peso de estas sobre los neumáticos. Proporcionan, por un lado, estabilidad al vehículo y por otro, confort al conductor

FRENOS : El sistema de frenos del que van provistos los volquetes es esencial, pues deben soportar frenadas prolongadas al bajar pendientes mientras van totalmente cargados. Los sistemas de frenado se componen de: Frenos de servicio. Frenos de emergencia. Frenos de estacionamiento y Retardador

SUSPENSIÓN : El sistema de suspensión de un volquete minero no solo debe absorber las oscilaciones y vibraciones causadas por las desigualdades del terreno, sino también debe amortiguar los golpes durante la carga y distribuir el peso de estas sobre los neumáticos. Proporcionan, por un lado, estabilidad al vehículo y por otro, confort al conductor.

DIRECCIÓN Y SISTEMAS HIDRÁULICO

La dirección es totalmente hidráulica, llevándose a cabo la última acción mediante dos cilindros hidráulicos gemelos de doble acción independiente. Estos dos cilindros hidráulicos están insertos dentro del sistema hidráulico general que agrupa los cilindros de elevación de la caja y cuyo aceite atraviesa los discos traseros de freno refrigerándolos.

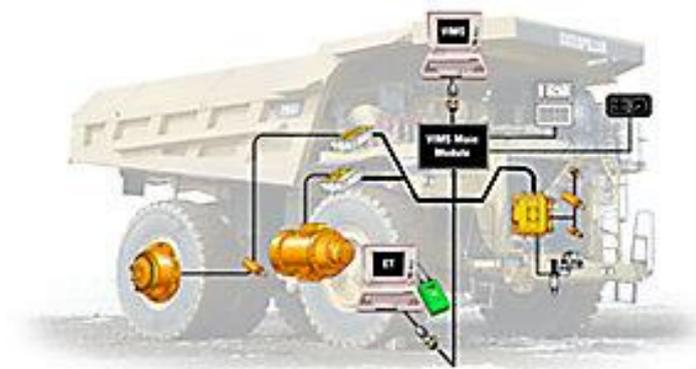


Figura N° 24 Sistema de transmisión camión volquete CAT 740

Fuente: CAT

2.6 COSTOS DE MANTENIMIENTO Y ENERGIA:

El costo como un recurso que se sacrifica o al que se renuncia para alcanzar un objetivo específico. Por ahora, consideremos a los costos medidos en la forma convencional contable, como cantidades monetarias (por ejemplo, dólares o pesos) que se tienen que pagar para adquirir bienes o servicios. El costo se define como el “valor” sacrificado para obtener bienes o servicios. El sacrificio hecho se mide en dólares mediante la reducción de activos o el aumento de pasivos en el momento en que se obtienen los beneficios. En el momento de la adquisición, se incurre en el costo para obtener, se incurre en el costo para obtener beneficios presentes o futuros. Cuando se obtienen los beneficios, los costos se convierten en gastos. Un gasto se define como un costo que ha producido un beneficio y que ya está expirado. Los costos no expirados que puedan dar beneficios futuros se clasifican como activos. Para guiarse en las decisiones, los administradores desean saber el costo de algo. Llamamos a este algo un objeto de costo y lo definimos como algo para el cual se desea una medición separada de costos. Ejemplos de objetos de costos incluyen un producto, un servicio, un proyecto, un consumidor, una categoría de marca, una actividad, un departamento, y un programa. Se escogen los objetos de costos no sólo por sí mismos, sino para ayudar en la toma de decisiones.

2.6.1 COSTOS DE ENERGIA:

Los costos de son aquellos que se evalúan en función a periodos mensuales de operación según las siguientes ecuaciones:

COSTO TOTAL MENSUAL POR COMBUSTIBLE (CTM) :

$$CTM = CCM * P.U.C \dots \dots \dots (12)$$

Dónde:

CCM = Consumo de combustible mensual.

P.U.C = Precio unitario de combustible

2.6.2 COSTOS DE MANTENIMIENTO:

Los principales objetivos del mantenimiento manejados con criterio económico y encausado a un ahorro en los costos generales de producción son: Mantener constantemente los equipos e instalaciones en las condiciones óptimas para evitar tiempos de parada que aumenta los costos. Prolongar la vida útil según el fabricante de los equipos e instalaciones al máximo. Tener una inspección sistemática de los equipos e

instalaciones, con periodicidad para detectar oportunamente cualquier desgaste o rotura, llevando los controles y registros adecuados. Llevar a cabo las reparaciones de emergencia lo más rápido posible, utilizando métodos más fáciles de reparación. Prever y proponer mejoras en la maquinaria y equipo para reducir las probabilidades de daño y rotura. Controlar el costo directo del mantenimiento mediante el uso correcto y eficiencia del tiempo, materiales, hombres y servicio.

A. DETERMINACION DE COSTOS DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO.

Para poder hallar los costos de mantenimiento correctivo se requiere de los siguientes ecuaciones:

HORAS HOMBRE POR MANTENIMIENTO CORRECTIVO: Se tiene la siguiente ecuación:

$$HH = HDP * CPM \dots \dots \dots (13)$$

Dónde:

HDP = Horas de parada del equipo

CPM = Cantidad de personal para el mantenimiento

COSTO POR MANO DE OBRA DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO (MOC) :

$$MOC = JH * HH \dots \dots \dots (14)$$

Dónde:

JH = Jornal Horario (U\$/hr)

COSTO DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO POR FALLA (CMCF):

$$CMCF = (MOC + CRTO) * (NF) \dots \dots \dots (15)$$

Dónde:

CRTO = Costo de repuestos (U\$)

NF = Numero de ocurrencia de fallas

COSTO DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO TOTAL (CMCT):

$$CMCT = \sum CMCF \dots \dots \dots (16)$$

B. DETERMINACION DE COSTOS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO.

HORAS DE INTERVENCIONES PREVENTIVAS:

$$HPT = HP * CPM * NEF \dots \dots (17)$$

Para hallar los costos totales de mantenimiento preventivo (CMP) se requiere los siguientes datos:

HP = Horas preventivas del equipo

NEF Número de equipos de flota (muestra)

NME = Numero de meses a evaluar las ocurrencias

CPM = Cantidad de personal para el MP

COSTO POR MANO DE OBRA PREVENTIVA:

$$CMP = CC + MO \dots \dots \dots (18)$$

Donde :

MO = Costo de mano de obra

CC = Costo de consumibles durante el mantenimiento preventivo (U\$)

COSTO TOTAL DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO (CTMP) :

$$CTMP = CMP * NEF * NME \dots \dots (19)$$

C. DETERMINACION DE COSTOS DE MANTENIMIENTO TOTALES.

COSTO DE INDISPONIBILIDAD OPERATIVA POR MANTENIMIENTO (CIOM) :

Este indicador nos evalúa el costo asociado a las horas que se dedican a mantenimiento correctivo y preventivo bajo el supuesto de que se hubiesen alquilado)

$$CIOM = (HPMC + HPT) * \text{costo alquiler maquina hora} \dots \dots \dots (20)$$

Dónde:

Horas perdidas por mantenimiento correctivo HPMC

Horas mantenimiento preventivo HPT

COSTO DE MANTENIMIENTO TOTAL (CMT): Evalúa los costos de mantenimiento preventivo, correctivo y los de indisponibilidad operativa de mantenimiento.

$$\text{Costo de mantenimiento total} = \text{CMT} = \text{CMC} + \text{CMP} + \text{CIOM} \dots \dots \dots (21)$$

Así mismo se tienen los supuestos de adquirir maquinas nuevas bajo el siguiente característica:

Costo de un equipo nuevo (Camión grúa articulado) = CEN

Costo de reposición por la compra de unidades nuevas CR

CAPACIDAD PRODUCTIVA EFECTUADA (CPR) : Seguidamente se determina la capacidad productiva efectuada (CPR)

$$\text{CPR} = (\text{HOT} - \text{HPT} - \text{HMC}) * \text{Costo alquiler maquina} \dots \dots (22)$$

CAPACIDAD PRODUCTIVA NOMINAL (CPN) : Suponiendo que hubiese 0 fallas , entonces se determinan la Capacidad productiva nominal ,según la siguiente ecuación:

$$\text{CPN} = (\text{HOT}) * \text{Costo alquiler maquina} \dots \dots \dots (23)$$

D. INDICES DE DESEMPEÑO:

INDICE DE INTERFERENCIA CORRECTIVA IMC: Este indicador evalúa el porcentaje de horas destinadas a mantenimiento correctivo en relación al número total de horas sumadas las horas de mantenimiento correctivo, preventivo y de alquileru noperacion.

$$\text{IMC} = \frac{\text{HMCT}}{\text{HMCT} + \text{HOT} + \text{HMPT}} \dots \dots (24)$$

INDICE DE INTERFERENCIA PREVENTIVA IMP: Este indicador evalúa el porcentaje de horas destinadas a mantenimiento preventivo en relación al número total de horas sumadas las horas de mantenimiento correctivo, preventivo y de alquiler.

$$IMP = \frac{HMPT}{HMCT + HOT + HMPT} \dots \dots (25)$$

INDICE DE CONFIABILIDAD OPERACIONAL ICO: Este indicador evalúa el porcentaje de horas destinadas al alquiler de las maquinas en relación al número total de horas sumadas las horas de mantenimiento correctivo, preventivo y de alquiler.

$$IMC = \frac{HOT}{HMCT + HOT + HMPT} \dots \dots (26)$$

INDICE DE COSTO DE MANTENIMIENTO ICM: Relaciona el costo de mantenimiento entre el costo de alquiler ..

$$ICM = \frac{CMT}{HOT * Costo Alquiler} * 100 \% \dots \dots \dots (27)$$

CAPITULO III:
MATERIALES Y METODO

3.1 MATERIALES

Dentro del Material utilizado se tiene lo siguiente:

3.1.1 SUSTANCIAS:

a. **DIESEL B5 :**

El Diesel B5 es un combustible constituido por una mezcla de Diesel N°2 y 5% en volumen de Biodiesel (B100).

Diesel N°2.- Combustible derivado de hidrocarburos, destilado medio, obtenido de procesos de refinación.

Biodiesel (B100).- Combustible diesel derivado de recursos renovables, puede ser obtenido a partir de aceites vegetales o grasas animales. Cumple con las especificaciones de calidad establecidas en la norma nacional e internacional. Este combustible prácticamente no contiene azufre.

Es importante resaltar que, de conformidad a la legislación nacional vigente, se estableció un cronograma para el uso obligatorio de mezclas del Diesel N°2 con el Biodiesel B100:

Desde el 01.01.2009: Diesel B2 (mezcla de Diesel N°2 + 2% de Biodiesel B100)

Desde el 01.01.2011: Diesel B5 (mezcla de Diesel N°2 + 5% de Biodiesel B100)

El DIESEL B5 PETROPERÚ, con denominación comercial en nuestro caso de BIO DIESEL B5 PETROPERÚ, cumple con las especificaciones técnicas de la norma técnica peruana vigente y guarda concordancia con los principales ensayos de los estándares internacionales ASTM, D975 y SAE J313.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

- Elevado índice de cetano con respecto a la especificación, que asegura una excelente calidad de ignición, arranque rápido y menor ruido del motor.
- Bajo contenido con respecto de azufre a la especificación, asegurando una protección efectiva contra el desgaste.
- Excelente lubricidad y reducción de emisiones contaminantes (al incrementarse el porcentaje de biodiesel de 2 a 5%).
- Elevado poder calorífico, que garantiza una eficiente combustión.
- El DIESEL B5 PETROPERÚ contiene un paquete de aditivos de performance de última generación que le otorgan las siguientes ventajas:
- Permite la limpieza de inyectores para una óptima pulverización y por ende mejora de la combustión; protección para la bomba de inyección de combustible; protección contra la corrosión; separación del agua al contener un demulsificante. Estas mejoras favorecen el mejor rendimiento, menores gastos por mantenimiento, prolongando la vida útil del motor

- Asegura una mejora de la estabilidad, previniendo la acumulación de depósitos y protegiendo la superficie de los metales contra la formación de depósitos.
- Controla la espuma durante el abastecimiento de combustible, permitiendo mayor comodidad y rapidez en el llenado.
- Protege el ambiente al reducir la emisión de gases contaminantes e hidrocarburos no quemados.

USOS

- En motores diesel de vehículos para el transporte terrestre (automóviles, camiones, ómnibus, etc.)
- En plantas de generación eléctrica
- En equipos para la industria en general (minería, pesquería, construcción, sector agrícola, etc.)

3.1.2 MAQUINARIAS:

La muestra de estudio está compuesta por la siguiente maquinaria 08 Excavadoras y 08 Camiones Volquete CAT.

a. EXCAVADORAS:

Se tienen las siguientes especificaciones técnicas de las Excavadoras CAT contándose un total de 08 unidades:

Cuadro N° 3 Especificaciones técnicas de Excavadora 322D CAT

N°	ESPECIFICACIONES	DETALLES
1	Motor	CAT C6.6
2	Potencia bruta ISO 2949	129 KW /173 HP
3	Potencia máxima a 2,200 rpm ISO 2949	123 KW/ 165 HP
4	Disposicion	6 en V
5	Cilindrada	6.6 litros
		105*127 mm
6	Tanque de combustible	385 Litros
7	Peso	4.4 TM
8	Capacidad de cuchara	1.57 m ³
9	Fuerza de excavación de cucharon	140 kN

Fuente: Dpto. de Operaciones de Minería

Cuadro N° 4 Especificaciones hidráulicas/transmisión/carguío Excavadora 322D CAT

N°	ESPECIFICACIONES	DETALLES
1	Peso de trabajo	22.5 TM
2	Profundidad máxima de excavación	6.6 m
3	Alcance máximo a nivel de suelo	10.5 m
4	Presión máxima en circuito de trabajo	350 Bar
5	Presión en circuito auxiliar	350/180 Bar
6	Presión mecanismo de giro	340 Bar
7	Flujo máximo circuito de trabajo	350 litros/minuto
8	Flujo circuito auxiliar Alta Presión Media Presión	250 litros/minuto 90 litros/minuto
9	Transmisión	2 velocidades de avance y 2 retrocesos(7 y 25 km/h)
10	Neumáticos	11,00 a 20 (neumático doble)
11	Nivel de ruido	109 dB

Fuente: Dpto. de Operaciones de Minería

Cuadro N°5 Especificaciones de consumo de combustible de Excavadora 322D CAT

N°	Factor de Carga	Consumo horario (litros/hora)
1	Aplicaciones ligeras con ciclos intermitentes de trabajo	0.76-3.30
2	Excavación continua en gran volumen	4.9
3	Excavación continuo, carretera con suelos escabrosos	6.2

Fuente: Unidad de Logística de Minería



Figura N°25 Excavadora 322D CAT
Fuente: Dpto. de Operaciones en Minas.

b. CAMION VOLQUETE:

Se tienen las siguientes especificaciones técnicas de los camiones volquetes de obras 777G CAT, contándose un total de 08 unidades:

Cuadro N° 6 Especificaciones técnicas de Camión Volquete 777G CAT

N°	ESPECIFICACIONES	DETALLES
1	Motor	C32 ACERT
2	Potencia bruta SAE J51995	765 KW/1025 HP hasta 3,900 msnm
3	Potencia neta SAE J1349	704 KW/945 HP hasta 3,900 msnm
4	Emisiones	Nivel 2
5	Sistema de combustible	EUI
6	Cilindrada	32.1 litros 12 cilindros (146 mm * 162 mm)
7	Trabajo con la maquina vacía	67,200 a 72,500 kgf
8	Carga Útil nominal	9.8 a 100 TM
9	Velocidad máxima de cargado	65 km/h
10	ROPS	Norma ISO 3471-1994
11	Nivel de ruido	76 dB
12	Transmisión	7 velocidades + 1 retroceso
13	Neumáticos	27.00R49 (E4)
14	Sistema de frenado	ISO 3450:1996

15	Maniobralidad	
	Flujo de la bomba a velocidad alta en vacío	458 L/min 120,9 gal EE.UU./min
	Configuración de la válvula de alivio de levantamiento	18.950 kPa 2.750 lb/pulg ²
	Configuración de la válvula de alivio de bajada	3.450 kPa 500 lb/pulg ²
	Tiempo de levantamiento de la caja a velocidad alta en vacío	15 segundos
	Tiempo de bajada de la caja a posición libre	13 segundos
	Tiempo de bajada de la caja a velocidad alta en vacío	13 segundos

Fuente : Dpto de Operaciones de Minería

Cuadro N°7 Especificaciones de consumo de combustible de Camión Volquete 777G CAT

N°	Factor de Carga	Consumo horario (Gal/hora)
1	Funcionamiento continuo a un peso bruto medio menor del recomendado .Caminos de acarreo excelente, sin sobrecarga.	10.2
2	Funcionamiento continuo al peso bruto medio cerca al valor recomendado.Sobecarga mínima , caminos de acarreo en buen estado de conservación.	15.3
3	Operación continúa en o sobre el peso bruto máximo recomendado. Sobrecargas, caminos de acarreo en mal estado.	20.4

Fuente: Unidad de Logística de Minería



Figura N°26 Camión Volquete 777G CAT

Fuente: Dpto. de Operaciones en Minas.

3.1.3 INFORMACION DE CAMPO:

A. EXCAVADORAS:

Se presentan la información entre Enero-Junio 2014 referente al grado de criticidad de la muestra de estudio compuesta por 08 Excavadoras 322D, en el cual se puede observar que las Excavadoras 1 y 2 son relativamente nuevas respecto a las restantes seis , pero se encuentran con un grado de criticidad REGULAR , mientras que las seis excavadoras restantes tienen una antigüedad entre 2 a 3 años , en donde las excavadoras 3,4 y 7 se encuentran en un grado de criticidad IMPORTANTE , básicamente por el número de fallas que se suscitan continuamente.

Cuadro N°8 Grado de criticidad de Excavadoras 322D

EXCAVADORA N° 001							EXCAVADORA N° 005						
EQUIPO Y HOROMETRO			GRADO DE CRITICIDAD				EQUIPO Y HOROMETRO			GRADO DE CRITICIDAD			
			CLASE							CLASE			
GRADO DE ANTIGÜEDAD			1	2	3	4	EQUIPO Y HOROMETRO			1	2	3	4
			TIPO							TIPO			
CLASE	CONDICION	ANTIG.(HORAS)	CRITICO	IMPORTANTE	REGULAR	OPCIONAL	CLASE	CONDICION	ANTIG.(HORAS)	CRITICO	IMPORTANTE	REGULAR	OPCIONAL
A	NUEVO	0-5,000			X		A	NUEVO	0-5,000				
B	USADO	5,000-10,000					B	USADO	5,000-10,000			X	
C	VIEJO	10,000-20,000					C	VIEJO	10,000-20,000				

EXCAVADORA N° 002							EXCAVADORA N° 006						
EQUIPO Y HOROMETRO			GRADO DE CRITICIDAD				EQUIPO Y HOROMETRO			GRADO DE CRITICIDAD			
			CLASE							CLASE			
GRADO DE ANTIGÜEDAD			1	2	3	4	EQUIPO Y HOROMETRO			1	2	3	4
			TIPO							TIPO			
CLASE	CONDICION	ANTIG.(HORAS)	CRITICO	IMPORTANTE	REGULAR	OPCIONAL	CLASE	CONDICION	ANTIG.(HORAS)	CRITICO	IMPORTANTE	REGULAR	OPCIONAL
A	NUEVO	0-5,000			X		A	NUEVO	0-5,000				
B	USADO	5,000-10,000					B	USADO	5,000-10,000			X	
C	VIEJO	10,000-20,000					C	VIEJO	10,000-20,000				

EXCAVADORA N° 003							EXCAVADORA N° 007						
EQUIPO Y HOROMETRO			GRADO DE CRITICIDAD				EQUIPO Y HOROMETRO			GRADO DE CRITICIDAD			
			CLASE							CLASE			
GRADO DE ANTIGÜEDAD			1	2	3	4	EQUIPO Y HOROMETRO			1	2	3	4
			TIPO							TIPO			
CLASE	CONDICION	ANTIG.(HORAS)	CRITICO	IMPORTANTE	REGULAR	OPCIONAL	CLASE	CONDICION	ANTIG.(HORAS)	CRITICO	IMPORTANTE	REGULAR	OPCIONAL
A	NUEVO	0-5,000					A	NUEVO	0-5,000				
B	USADO	5,000-10,000		X			B	USADO	5,000-10,000		X		
C	VIEJO	10,000-20,000					C	VIEJO	10,000-20,000				

EXCAVADORA N° 004							EXCAVADORA N° 008						
EQUIPO Y HOROMETRO			GRADO DE CRITICIDAD				EQUIPO Y HOROMETRO			GRADO DE CRITICIDAD			
			CLASE							CLASE			
GRADO DE ANTIGÜEDAD			1	2	3	4	EQUIPO Y HOROMETRO			1	2	3	4
			TIPO							TIPO			
CLASE	CONDICION	ANTIG.(HORAS)	CRITICO	IMPORTANTE	REGULAR	OPCIONAL	CLASE	CONDICION	ANTIG.(HORAS)	CRITICO	IMPORTANTE	REGULAR	OPCIONAL
A	NUEVO	0-5,000					A	NUEVO	0-5,000				
B	USADO	5,000-10,000		X			B	USADO	5,000-10,000			X	
C	VIEJO	10,000-20,000					C	VIEJO	10,000-20,000				

Fuente: Elaboración propia.

B. CAMIONES VOLQUETE:

Se presentan la información entre Enero-Junio 2014 referente al grado de criticidad de la muestra de estudio compuesta por 08 Camiones Volquete 777G , en el cual se puede observar que los Camiones Volquete tienen entre 5,000 a 10,000 horas de uso, donde las unidades 1,3,6 ,7 y 8 se encuentran el nivel de criticidad REGULAR , mientras que las unidades 2,4 y 5 se encuentran en un grado de criticidad IMPORTANTE , básicamente por el número de fallas que se suscitan continuamente.

Cuadro N°9 Grado de criticidad de Camiones Volquete 777G

CAMION VOLQUETE N° 001						
EQUIPO Y HOROMETRO		GRADO DE CRITICIDAD				
		CLASE				
		1	2	3	4	
GRADO DE ANTIGÜEDAD		TIPO				
CLASE	CONDICION	ANTIG.(HORAS)	CRITICO	IMPORTANTE	REGULAR	OPCIONAL
A	NUEVO	0-5,000	Yellow	Green	Green	Green
B	USADO	5,000-10,000	Red	Yellow	X	Green
C	VIEJO	10,000-20,000	Red	Red	Yellow	Green

CAMION VOLQUETE N° 002						
EQUIPO Y HOROMETRO		GRADO DE CRITICIDAD				
		CLASE				
		1	2	3	4	
GRADO DE ANTIGÜEDAD		TIPO				
CLASE	CONDICION	ANTIG.(HORAS)	CRITICO	IMPORTANTE	REGULAR	OPCIONAL
A	NUEVO	0-5,000	Yellow	Green	Green	Green
B	USADO	5,000-10,000	Red	X	Green	Green
C	VIEJO	10,000-20,000	Red	Red	Yellow	Green

CAMION VOLQUETE N° 003						
EQUIPO Y HOROMETRO		GRADO DE CRITICIDAD				
		CLASE				
		1	2	3	4	
GRADO DE ANTIGÜEDAD		TIPO				
CLASE	CONDICION	ANTIG.(HORAS)	CRITICO	IMPORTANTE	REGULAR	OPCIONAL
A	NUEVO	0-5,000	Yellow	Green	Green	Green
B	USADO	5,000-10,000	Red	Yellow	X	Green
C	VIEJO	10,000-20,000	Red	Red	Yellow	Green

CAMION VOLQUETE N° 004						
EQUIPO Y HOROMETRO		GRADO DE CRITICIDAD				
		CLASE				
		1	2	3	4	
GRADO DE ANTIGÜEDAD		TIPO				
CLASE	CONDICION	ANTIG.(HORAS)	CRITICO	IMPORTANTE	REGULAR	OPCIONAL
A	NUEVO	0-5,000	Yellow	Green	Green	Green
B	USADO	5,000-10,000	Red	X	Green	Green
C	VIEJO	10,000-20,000	Red	Red	Yellow	Green

CAMION VOLQUETE N° 005						
EQUIPO Y HOROMETRO		GRADO DE CRITICIDAD				
		CLASE				
		1	2	3	4	
GRADO DE ANTIGÜEDAD		TIPO				
CLASE	CONDICION	ANTIG.(HORAS)	CRITICO	IMPORTANTE	REGULAR	OPCIONAL
A	NUEVO	0-5,000	Yellow	Green	Green	Green
B	USADO	5,000-10,000	Red	X	Green	Green
C	VIEJO	10,000-20,000	Red	Red	Yellow	Green

CAMION VOLQUETE N° 006						
EQUIPO Y HOROMETRO		GRADO DE CRITICIDAD				
		CLASE				
		1	2	3	4	
GRADO DE ANTIGÜEDAD		TIPO				
CLASE	CONDICION	ANTIG.(HORAS)	CRITICO	IMPORTANTE	REGULAR	OPCIONAL
A	NUEVO	0-5,000	Yellow	Green	Green	Green
B	USADO	5,000-10,000	Red	Yellow	X	Green
C	VIEJO	10,000-20,000	Red	Red	Yellow	Green

CAMION VOLQUETE N° 007						
EQUIPO Y HOROMETRO		GRADO DE CRITICIDAD				
		CLASE				
		1	2	3	4	
GRADO DE ANTIGÜEDAD		TIPO				
CLASE	CONDICION	ANTIG.(HORAS)	CRITICO	IMPORTANTE	REGULAR	OPCIONAL
A	NUEVO	0-5,000	Yellow	Green	Green	Green
B	USADO	5,000-10,000	Red	Yellow	X	Green
C	VIEJO	10,000-20,000	Red	Red	Yellow	Green

CAMION VOLQUETE N° 008						
EQUIPO Y HOROMETRO		GRADO DE CRITICIDAD				
		CLASE				
		1	2	3	4	
GRADO DE ANTIGÜEDAD		TIPO				
CLASE	CONDICION	ANTIG.(HORAS)	CRITICO	IMPORTANTE	REGULAR	OPCIONAL
A	NUEVO	0-5,000	Yellow	Green	Green	Green
B	USADO	5,000-10,000	Red	Yellow	X	Green
C	VIEJO	10,000-20,000	Red	Red	Yellow	Green

Fuente: Elaboración propia

3.2 METODO DE INVESTIGACION:

3.2.1 DISEÑO:

El presente trabajo realiza uso del método cuantitativo

Analítico: es un camino para llegar a un resultado mediante la descomposición de un fenómeno en sus elementos constitutivos. Al referirnos a diversos saberes en los que la aplicación del método analítico es posible, vemos una gradación que va desde las aplicaciones más empíricas y concretas hasta las más abstractas y simbólicas.

Sintético: Es un proceso de razonamiento que tiende a reconstruir un todo, a partir de los elementos distinguidos por el análisis, se trata en consecuencia de hacer una explosión metódica y breve, en resumen. En otras palabras decir que la síntesis es un

procedimiento mental que tiene como meta la comprensión cabal de la esencia de lo que ya conocemos en todas sus partes y particularidades.

Deductivo, es la formulación o enunciación de sistemas de axiomas o conjunto de tesis de partida en una determinada Teoría. Es un método científico que considera que la conclusión se halla implícita dentro las premisas. Esto quiere decir que las conclusiones son una consecuencia necesaria de las premisas: cuando las premisas resultan verdaderas y el razonamiento deductivo tiene validez, no hay forma de que la conclusión no sea verdadera. En todos los casos, los investigadores que apelan al método deductivo empiezan su trabajo planteando supuestos (coherentes entre sí) que se limitan a incorporar las características principales de los fenómenos. El trabajo sigue con un procedimiento de deducción lógica que finaliza en el enunciado de las leyes de carácter general.

El diseño de estudio es pre experimental, longitudinal y transeccional con medición antes y después de un caso único.(el análisis del comportamiento de los indicadores energéticos en función de la aplicación de un programa de mantenimiento.

El diseño que se utiliza será el pre experimental, considerando la naturaleza de las dos variables. Variable independiente “Programa de Mantenimiento” de la Flota de maquinaria pesada de la Empresa Minera SULLIDEN SHAHUINDO SAC.

3.2.2 METODOLOGIA DE CÁLCULO:

Se tiene la siguiente metodología de cálculo.

a. **DETERMINACION DE LOS INDICADORES ENERGETICOS PERIODO ENERO-JUNIO 2014.**

Teniendo en cuenta la información básica de Grado de criticidad de la muestra de estudio, se selecciona la excavadora N° 3 y el camión volquete N° 2 por estar en condición USADO y Grado de criticidad IMPORTANTE.

Con la muestra seleccionada se evalúa :

Numero de fallas.

Costos de Mantenimiento.

KPI.

Indicadores de mantenimiento.

Indicadores Energéticos.

b. **APLICACIÓN DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO.**

Entre el periodo Junio –Diciembre 2014 se aplica el programa de mantenimiento, la cual consta de los siguientes aspectos:

Organización del Área de mantenimiento.

Aplicación de un programa de mantenimiento preventivo.

Aplicación de un cronograma de mantenimiento predictivo.

Elaboración de formatos y reportes de trabajo.

Elaboración del stock de repuestos críticos.

c. **DETERMINACION DE LOS INDICADORES ENERGETICOS PERIODO ENERO-JUNIO 2015.**

Teniendo en cuenta la información luego de aplicarse el programa de mantenimiento con la excavadora N° 3 y el camión volquete N° 2 por estar en condición USADO y Grado de criticidad IMPORTANTE se evalúa :

Numero de fallas.

Costos de Mantenimiento.

KPI.

Indicadores de mantenimiento.

Indicadores Energéticos.

d. **APLICACIÓN DE UN BENCHMARKING DE INDICADORES.**

Se determina la aceptación o rechazo de la hipótesis planteada. En función a lo hallado se determina el grado de mejora de los Indicadores.

CAPITULO IV:
CALCULOS Y DISCUSION DE
RESULTADOS

4.1 EVALUACION DEL ESTADO DE INDICADORES DE EXCAVADORES 322D

PERIODO INICIAL: La evaluación se realiza para la Excavadora 322D N° 3 , luego en los cuadros resúmenes se analiza el comportamiento de las 7 máquinas restantes.

4.1.1 OCURRENCIA DE FALLAS:

Se presenta la lista de fallas que se suscitan para un periodo de 6 meses (Enero-Junio 2014) para la excavadora N° 3 la cual se encuentra con un grado de criticidad importante.

Cuadro N° 10 Ocurrencia de fallas Excavadora N° 3

N°	SISTEMA	SUBSISTEMA	O CURRENCIAS	HORAS DE PARADA	TOTAL HORAS
1	Potencia	MOTOR PRINCIPAL	4	5	20
2	Potencia	ADMISION Y ESCAPE	2	2	4
3	Potencia	ENFRIAMIENTO	4	2.5	10
4	Potencia	INYECCION	2	5	10
5	Potencia	LUBRICACION	3	2	6
8	Eléctrico-Electronico	ILUMINACION	22	0.5	11
9	Eléctrico-Electronico	ELECTRICO	9	1.5	13.5
10	Eléctrico-Electronico	CONTROL	10	0.5	5
19	Motriz	TRANSMISION	11	3	33
20	Motriz	FRENOS	6	2.5	15
21	Motriz	NEUMATICOS	7	2	14
22	Motriz	DIRECCION	14	2.5	35
32	Hidráulico	BOMBA	3	4	12
33	Hidráulico	DISTRIBUCION	24	1	24
34	Hidráulico	ACTUADORES	5	1.5	7.5
35	Hidráulico	COMPONENTES	5	1	5
42	Estructural	PARACHOQUE	2	1	2
43	Estructural	BASTIDOR	3	1.5	4.5
44	Estructural	CARROCERIA	3	1.5	4.5
TOTAL			139	40.5	236

Fuente : Elaboración propia

4.1.2 DETERMINACION DE LOS COSTOS POR MANTENIMIENTO CORRECTIVO:

a. DETERMINACION DEL COSTO UNITARIO:

Teniendo en cuenta un periodo de trabajo de 3 semanas por 1 semana de descanso , y en función a la cantidad de personal presente asociado a la operación y mantenimiento , se determina el costo unitario de la hora hombre.

Por ejemplo : Se tiene 01 Supervisor de Mantenimiento con un sueldo de S/ 4,000.00.

$$\text{Jornal diario} = \frac{4,000 \text{ S/./mes}}{22 \text{ dias/mes}} = 181.82 \frac{\text{S/}}{\text{dia}}$$

$$\text{Jornal Horario} = \frac{181.82 \text{ S/./dia}}{8 \text{ horas/dia}} = 22.73 \frac{\text{S/}}{\text{hora}}$$

$$\text{Jornal Horario} = \frac{22.73}{3} = 7.58 \text{ U\$/hora}$$

Cuadro N° 11 Costo unitario de Hora hombre en Excavadora 322D

N°	Descripcion del Personal	Sueldo Promedio (S/.)	Jornal diaria (S/./ dia)	Jornal horario (S/./Hr)	Jornal horari0 (U\\$/Hr)
1	Supervisor de Mantenimiento	4000	181.82	22.73	7.58
2	Operador de Excavadora	2800	127.27	15.91	5.30
3	Tecnico Mecanico	2800	127.27	15.91	5.30
4	Tecnico Electricista/Electronico	2800	127.27	15.91	5.30
5	Tecnico Ayudante Mecanico	1600	72.73	9.09	3.03
6	Practicante	800	36.36	4.55	1.52
		2500		15.91	5.30

Fuente : Elaboración propia

b. COSTO DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO:

- Se tienen los siguientes datos para evaluar el costo de mantenimiento correctivo para Cambio de accesorios en bomba de transferencia de combustible en motor del Sistema de Potencia de Excavadora 422D N° 3:
 JH = Jornal Horario (U\$/hr) = 5.30
 HDP = Horas de parada del equipo = 6
 CPM = Cantidad de personal para el mantenimiento= 2

- Número de horas hombre:

$$NHH = 6 * 2 = 12 \text{ HH}$$

- Costo de Mano de obra:

$$CMO = 5.3 * 12 = 63.60 \text{ U\$}$$

- Costo de Repuesto (Accesorio Bomba de transferencia de motor de Sistema de Potencia)

$$CR = 30 \text{ U\$}$$

- Costo de mantenimiento correctivo por falla unitaria:

$$CMCFU = 63.60 + 30 = 93.60 \text{ U\$}$$

- Se tiene un numero de ocurrencias igual a 2.

- Costo de mantenimiento correctivo por falla

$$CMCF = 2 * 93.60 = 187.30 \text{ U\$}$$

- Se presenta un cuadro resumen de los costos por falla para cada uno de los sistemas analizados, con un total de 139 , lo cual reporta 236 horas de paradas correctivas y con un costo de 7,849.89 U\$.

Cuadro N° 12 Costo de Mantenimiento correctivo en Excavadora N° 3

CODIGOS DE FALLAS	SISTEMAS	SUB - SISTEMAS	DESCRIPCION DE FALLAS	HORAS DE PARAD	CANT. DE PERSONAL	HORAS HOMBRES (HH)	COSTO DE REPUESTOS (CR)	COSTO DE MANO OBRA (MO)	COSTO TOTAL (CT)	OCURENCIAS	HORAS PERDIDAS (HP)	COSTO POR FALLA(US)
1	Potencia	Motor	Válvulas de la bomba de transferencia de combustible se encuentran obstruidas	6	2	12	30	63.6	93.6	2	12	187.3
2	Potencia	Motor	Rotura de la faja del motor	4	2	8	40	42.4	82.4	2	8	164.8
3	Potencia	Admision y escape	Pase de aceite de motor por el Turbo alimentador	2	2	4	25	21.2	46.2	2	4	92.4
4	Potencia	Enfriamiento	Radiador de aire (Intercooler) con aceite	2.5	2	5	25	26.5	51.5	3	7.5	154.5
5	Potencia	Enfriamiento	Fuga de liquido refrigerante por el desfogue de la bomba de agua	2.5	2	5	20	26.5	46.5	1	2.5	46.5
6	Potencia	Inyeccion	Caida de presion en inyectores	5	2	10	120	53.0	173.0	2	10	346.1
7	Potencia	Lubricacion	Mal funcionamiento de bomba de aceite de lubricacion	2	2	4	80	21.2	101.2	3	6	303.6
										15	50	1295.30
8	Eléctrico	Iluminacion	Faros de luz baja no enciende	0.5	1	0.5	10	2.7	12.7	6	3	75.9
9	Eléctrico	Iluminacion	Faros de luz alta no enciende	0.5	1	0.5	10	2.7	12.7	4	2	50.6
10	Eléctrico	Iluminacion	Faro de luz de retroceso no enciende	0.5	1	0.5	10	2.7	12.7	4	2	50.6
11	Eléctrico	Iluminacion	Soquete de faros delanteros se encuentran quemados	0.5	1	0.5	10	2.7	12.7	4	2	50.6
12	Eléctrico	Iluminacion	Conectores del arnés de faros delanteros se encuentran quemados	0.5	1	0.5	12	2.7	14.7	2	1	29.3
13	Eléctrico	Iluminacion	Luces laterales de la tolva, no encienden	0.5	1	0.5	15	2.7	17.7	2	1	35.3
14	Eléctrico	Eléctrico	El arrancador no responde, eficiencia de arranque es muy baja	1.5	2	3	40	15.9	55.9	5	7.5	279.5
15	Eléctrico	Eléctrico	Alternador no genera carga	1.5	2	3	50	15.9	65.9	1	1.5	65.9
16	Eléctrico	Eléctrico	La batería no retiene carga	1.5	2	3	40	15.9	55.9	3	4.5	167.7
17	Eléctrico	Control	Alarma no funciona	0.5	1	0.5	15	2.7	17.7	7	3.5	123.6
18	Eléctrico	Control	Solenoides de apagado de motor no acciona	0.5	1	0.5	20	2.7	22.7	3	1.5	68.0
										41	29.5	997.03

Fuente : Elaboración propia

Cuadro N° 13 Costo de Mantenimiento correctivo en Excavadora N° 3

CODIGOS DE FALLAS	SISTEMAS	SUB - SISTEMAS	DESCRIPCION DE FALLAS	HORAS DE PARADA	CANT. DE PERSONAL	HORAS HOMBRES (HH)	COSTO DE REPUESTOS (CR)	COSTO DE MANO OBRA (MO)	COSTO TOTAL (CT)	OCURENCIAS	HORAS PERDIDAS (HP)	COSTO POR FALLA (US)
19	Motriz	Transmision	Pedal de embrague se encuentra muy arriba, cambio de embrague	3	2	6	70	31.8	101.8	4	12	407.3
20	Motriz	Transmision	Reten de rueda delantera de grasa en mal estado	3	2	6	40	31.8	71.8	5	15	359.1
21	Motriz	Transmision	Fuga de aceite por el reten de rueda posterior	3	2	6	30	31.8	61.8	2	6	123.6
22	Motriz	Frenos	Fugas de aire por las cañerías de freno	2.5	2	5	30	26.5	56.5	1	2.5	56.5
23	Motriz	Frenos	Fuga de aire por la válvula dosificadora	2.5	2	5	30	26.5	56.5	1	2.5	56.5
24	Motriz	Frenos	Regulación de los frenos de las ruedas	2.5	2	5	40	26.5	66.5	1	2.5	66.5
25	Motriz	Frenos	Pulmón de freno (maxibrake) no responde debido por rotura del resorte interno	2.5	2	5	35	26.5	61.5	1	2.5	61.5
26	Motriz	Frenos	Desgaste interior de los tambores de las ruedas	2.5	3	7.5	45	39.8	84.8	1	2.5	84.8
27	Motriz	Frenos	Fajas de las zapatas de freno se encuentran desgastadas	2.5	2	5	50	26.5	76.5	1	2.5	76.5
28	Motriz	Neumáticos	Neumático se baja	2	3	6	40	31.8	71.8	5	10	359.1
29	Motriz	Neumáticos	Neumáticos con desgaste de cocada	2	2	4	200	21.2	221.2	2	4	442.4
30	Motriz	Dirección	Fuga de aceite por la bomba hidráulica de dirección	2.5	2	5	50	26.5	76.5	9	22.5	688.6
31	Motriz	Dirección	Terminales de la barra larga de dirección se encuentran en mal estado	2.5	2	5	60	26.5	86.5	5	12.5	432.6
										36	97	3215.08
32	Hidráulico	Bomba	Ruido en el interior de la Toma de fuerza (TDF)	4	3	12	60	63.6	123.6	2	8	247.3
33	Hidráulico	Bomba	Fuga de aceite por el sw itch de la Toma de fuerza (TDF)	4	2	8	40	42.4	82.4	1	4	82.4
34	Hidráulico	Distribucion	Fuga de aceite por la manguera del filtro de alta presión al banco de válvulas	1	2	2	30	10.6	40.6	8	8	324.8
35	Hidráulico	Distribucion	Fuga de aceite por el niple de las mangueras de estabilizadores verticales	1	2	2	30	10.6	40.6	10	10	406.1
36	Hidráulico	Distribucion	Fuga de aceite por la electroválvula del banco de válvulas	1	2	2	30	10.6	40.6	6	6	243.6
37	Hidráulico	Actuadores	Desgaste de las guías tipo patín de riel de cilindro de prolonga	1.5	2	3	30	15.9	45.9	3	4.5	137.7
38	Hidráulico	Actuadores	Fuga de aceite por el reten del cilindro de prolonga	1.5	2	3	40	15.9	55.9	1	1.5	55.9
39	Hidráulico	Actuadores	Fuga de aceite por el reten del cilindro de estabilizadores verticales	1.5	2	3	45	15.9	60.9	1	1.5	60.9
40	Hidráulico	Componentes	El resorte para seguros de gancho de grúa articulada esta rota	1	2	2	40	10.6	50.6	3	3	151.8
41	Hidráulico	Componentes	Desgaste de las guías de extensión de las prolongas	1	2	2	50	10.6	60.6	2	2	121.2
										37	48.5	1831.82
42	Estructural	Estructural	Parachoques posterior se encuentra doblado	1	2	2	50	10.6	60.6	2	2	121.2
43	Estructural	Estructural	Barandas de la tolva se encuentran en mal estado	1.5	2	3	45	15.9	60.9	3	4.5	182.7
44	Estructural	Estructural	Fisuras de los travesaños entre la tolva y el descanso del chasis	1.5	2	3	50	15.9	65.9	3	4.5	197.7
										8	11	501.67
TOTAL										139	236	7840.89

Fuente : Elaboración propia

4.1.3 DETERMINACION DE COSTOS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO:

- Para el Mantenimiento preventivo en función al tiempo , la secuencia de trabajo se ha organizado primariamente según las recomendaciones del fabricante , con las siguientes características rutinarias:

MP1 = Mantenimiento mensual (30 días)

MP2 = Mantenimiento 1 mes y medio (Entre los 42 y 45 días)

MP3 = Mantenimiento trimestral (90 días)

MP4 = Mantenimiento semestral (180 días)

- Se tienen las ordenes de servicio de mantenimiento preventivo con lo referente a los filtros del Motor CAT C6.6, filtros del sistema hidráulico de la pala articulada , aceites y grasas para los distintos puntos de engrase.

Cuadro N° 14 Mantenimiento Preventivo-Filtros de Motor en Excavadora N° 3

FILTROS MOTOR CAT C6.6-SISTEMA DE POTENCIA					ORDEN DE SERVICIO
DESCRIPCION	CODIGO	CANT. (UN)	COSTO (US\$)		
			UNITARIO	TOTAL	
COMBUSTIBLE PRIMARIO	CAT 326-1043	1	25.00	25.00	MP3
COMBUSTIBLE SECUNDARIO	CAT 1R-0752	1	15.00	15.00	MP3
ACEITE MOTOR	LF3000	1	65.00	65.00	MP3
AGUA	WF2073	1	30.00	30.00	MP2
AIRE PRIMARIO	S3214	1	75.00	75.00	MP3
AIRE SECUNDARIO	D 182049	1	35.00	35.00	MP3
ACEITE CAJA DIRECCION	HIC 5001	1	20.00	20.00	MP4

Fuente : Elaboración propia

Cuadro N° 15 Mantenimiento Preventivo-Filtros de Pala articulada en Excavadora N° 3

FILTROS PALA ARTICULADA -SISTEMA HIDRAULICO					ORDEN DE SERVICIO
DESCRIPCION	CODIGO	CANT. (UN)	COSTO (US\$)		
			UNITARIO	TOTAL	
HIDRAULICO (Circuito Alta Presion)	EA 1392	1	75.0	75.00	MP4
HIDRAULICO (Circuito de Retorno)	EA 1761	1	70.0	70.00	MP4
HIDRAULICO (Circuito de alivio)	EA 1814	1	20.0	20.00	MP4

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 16 Mantenimiento Preventivo-Aceites Excavadora 322D N° 3

ACEITES					ORDEN DE SERVICIO
DESCRIPCION	CODIGO	CANT. (GAL)	COSTO (US\$)		
			UNITARIO	TOTAL	
MOTOR	CAT DEO 15W-40	6.5	35.00	227.50	MP3
DIRECCION	ATF SPECIAL	1	35.00	35.00	MP3
SISTEMA HIDRAULICO	HYDO ADVANCE 10W	30	25.00	750.00	MP3
CAJA DE TRANSMISION	MOBIL 600XP	4	30.00	120.00	MP3
CORONAS / DIFERENCIAL	CAT GO 80W-90	4.8	25.00	120.00	MP3
CUBOS	SAE 85W40	4	20.00	80.00	MP3
LIQUIDO REFRIGERANTE	CAT ELC	5.5	22.00	121.00	MP3

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 17 Mantenimiento Preventivo-Filtros Excavadora 322D N° 3

GRASAS					ORDEN DE SERVICIO
DESCRIPCION	CODIGO	CANT. (KG)	COSTO (US\$)		
			UNITARIO	TOTAL	
PUNTOS DE LUBRICACION	MULTIPROPOSITO NLG12	1.5	30.00	45.00	MP1
GUIAS DE LAS EXTENSIONES	MULTIPROPOSITO NLG13	2	30.00	60.00	MP2

Fuente: Elaboración propia

- Se determinan seguidamente los costos de mantenimiento preventivo para cada una de las ordenes de servicio para cada mantenimiento preventivo

Para la ORDEN DE SERVICIO MP1 se tiene el siguiente costo :

$$\text{Costo MP1} = U\$ 45.00$$

Para la ORDEN DE SERVICIO MP2 se tiene el siguiente costo :

$$\text{Costo MP2} = 30.00 + 60.00 = U\$ 90.00$$

Para la ORDEN DE SERVICIO MP3 se tiene el siguiente costo:

$$\begin{aligned} \text{Costo MP3} &= 25.00 + 15.00 + 65.00 + 75.00 + 35.00 + 227.50.. \\ &... 35.00 + 750.00 + 120.00 + 120.00 + 80.00 + 121.00 = U\$ 1,668.50 \end{aligned}$$

Para la ORDEN DE SERVICIO MP4 se tiene el siguiente costo:

$$\text{Costo MP4} = \text{U\$ } 185.00$$

- Se tienen los cálculos para los costos de mantenimiento preventivo para cada uno de los periodos de trabajo establecidos para la máquina.

Para el periodo MENSUAL se tiene el siguiente costo :

$$\text{Costo MP mensual} = \text{Costo MP1} = \text{U\$ } 45.00$$

Para el periodo MES Y MEDIO se tiene el siguiente costo :

$$\text{Costo MP Mes y medio} = \text{Costo MP2} = \text{U\$ } 90.00$$

Para el periodo TRIMESTRAL se tiene el siguiente costo:

$$\begin{aligned} \text{Costo MP Trimestral} &= \text{Costo MP3} + \text{Costo MP2} + \text{Costo MP1} \\ \text{Costo MP Trimestral} &= 1,668.50 + 90.00 + 45.00 = 1,803.50 \text{ U\$} \end{aligned}$$

Para el periodo SEMESTRAL se tiene el siguiente costo:

$$\begin{aligned} \text{Costo MP Semestral} &= \text{Costo MP4} + \text{Costo MP3} + \text{Costo MP2} + \text{Costo MP1} \\ \text{Costo MP4} &= 185.00 + 1,803.50 = 1,988.50 \text{ U\$} \end{aligned}$$

Cuadro N° 18 Costo de Mantenimiento Preventivo por periodos Excavadora 322D N° 3

PERIODO	CODIGO	Orden de servicio	COSTO Mpi(U\$)
Mensual	MP1	Servicio realizado a las 300 horas	45.00
Mes y medio	MP2	Servicio realizado a las 450 horas	90.00
Mensual	MP1	Servicio realizado a las 600 horas	45.00
Trimestral	MP3	Servicio realizado a las 900 horas	1803.50
Mensual	MP1	Servicio realizado a las 1,200 horas	45.00
Mes y medio	MP2	Servicio realizado a las 1,350 horas	90.00
Mensual	MP1	Servicio realizado a las 1,500 horas	45.00
Semestral	MP4	Servicio realizado a las 1,800 horas	1988.50

Fuente: Elaboración propia

Se tienen un costo de mantenimiento preventivo para el periodo de evaluación de 6 meses igual a:

$$CMP = 45.00 + 90.00 + 45.00 + 1,803.50 + 45.00 + 90.00 + 45.00 + 1,988.50$$

$$CMP = 4,152.00 \text{ U\$}$$

Se detallan así mismo las horas dedicadas al mantenimiento preventivo:

$$HMP1 = 3 \text{ horas} * 1 \text{ operador} = 3 * 5.30 = 15.90 \text{ U\$}$$

$$HMP2 = 2 \text{ horas} * 1 \text{ operador} = 2 * 5.30 = 10.60 \text{ U\$}$$

$$HMP3 = 6 \text{ horas} * 2 \text{ operadores} = 6 * 2 * 5.30 = 63.60 \text{ U\$}$$

$$HMP4 = 4 \text{ horas} * 2 \text{ operadores} = 4 * 2 * 5.30 = 42.40 \text{ U\$}$$

Se determinan los Costos por mano de obra en MP, según el siguiente cuadro:

Cuadro N° 19 Costo de Mantenimiento Preventivo Mano de Obra Excavadora 322D N° 3

PERIODO	CODIGO	Orden de servicio	COSTO MOMP(U\$)	HORAS
Mensual	MP1	Servicio realizado a las 300 horas	15.90	3
Mes y medio	MP2	Servicio realizado a las 450 horas	10.60	2
Mensual	MP1	Servicio realizado a las 600 horas	15.90	3
Trimestral	MP3	Servicio realizado a las 900 horas	90.10	11
Mensual	MP1	Servicio realizado a las 1,200 horas	15.90	3
Mes y medio	MP2	Servicio realizado a las 1,350 horas	10.60	2
Mensual	MP1	Servicio realizado a las 1,500 horas	15.90	2
Semestral	MP4	Servicio realizado a las 1,800 horas	132.50	15
TOTAL			307.40	41

Fuente: Elaboración propia

Se tienen un costo de mantenimiento preventivo en mano de obra para el periodo de evaluación de 6 meses igual a:

$$CMOMP = 15.90 + 10.60 + 15.90 + 90.10 + 15.90 + 10.60 + 15.90 + 132.50$$

$$CMOMP = 307.40 \text{ U\$}$$

Los costos totales de mantenimiento preventivo se obtienen sumando el CMP y CMOMP:

$$CTMP = 4,152.00 + 307.40 = 4,459.40 \text{ U\$}$$

4.1.4 DETERMINACION DE LOS COSTOS DE INDISPONIBILIDAD OPERATIVA POR MANTENIMIENTO:

El Costo de indisponibilidad operativa por mantenimiento (CIOM)Este indicador nos evalúa el costo asociado a las horas que se dedican a mantenimiento correctivo bajo el criterio de que las maquinas han sido alquiladas.

Horas perdidas por mantenimiento correctivo HPMC = 236 horas

Costo alquiler maquina hora = 60 U\$

$$\text{CIOM} = (\text{HPMC}) * \text{costo alquiler maquina hora}$$

$$\text{CIOM} = 236 * 60 = 14,160.00 \text{ U\$}$$

4.1.5 DETERMINACION DE LOS COSTOS DE MANTENIMIENTO TOTALES:

Se tienen los siguientes datos para poder determinar los costos de mantenimiento totales:

Costo total de mantenimiento correctivo = CTMC = U\$ 7,840.89

Costo total de mantenimiento preventivo = CTMP = U\$ 4,459.40

Costo de indisponibilidad operativa por mantenimiento = CIOM = U\$ 14,160.00

$$\text{CMT} = 7,840.89 + 4,459.40 + 14,160.00 = 26,460.29 \text{ U\$}$$

Los Costos unitarios mensuales de mantenimiento, para un periodo de evaluación de 6 meses son:

Costo unitario total de mantenimiento correctivo = CUTMC = 1,306.82 U\$

Costo unitario total de mantenimiento preventivo = CUTMP = 743.23 U\$

Costo unitario de indisponibilidad operativa por mantenimiento = CUIOM = 2,360.00 U\$

Costo de Mantenimiento Total = 4,410.05 U\$

4.1.6 EVALUACION DE INDICADORES DE MANTENIMIENTO:

a. DETERMINACION DE LOS KPI DE MANTENIMIENTO:

TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS (TMEF): Se evalúa según la ecuación N° 1:

Para un total de 1,800 horas de operación :

$$TMEF = MTBF = \frac{1,800}{139} = 12.96 \text{ horas}$$

Dónde:

HTO = Son la suma total de horas de operaciones efectuadas en un periodo de tiempo de análisis= 1,800 horas

NF= Numero de fallas ocurridas en un periodo de tiempo analizado= 139 fallas

TIEMPO MEDIO PARA LA REPARACIÓN (TMPR): Este valor se evalúa según la ecuación N° 2:

$$TMPR = MTTR = \frac{236}{139} = 1.70 \text{ horas}$$

Dónde:

HTP = Horas totales de parada o fuera de servicio=236 horas

TIEMPO MEDIO PARA FALLAS (TMPF) :

Este indicador se evalúa según la ecuación N° 3:

$$TMPF = MTTF = TMEF + TMPR = 12.96 + 1.70 = 14.65 \text{ horas}$$

b. INDICADORES DE MANTENIMIENTO:

DISPONIBILIDAD:

La disponibilidad de un equipo se evalúa según la ecuación N° 4:

$$Disponibilidad = \frac{1,800 - 236}{1,800} * 100\% = 86.89 \%$$

CONFIABILIDAD: Se evalúa según la ecuación N° 5:

$$\text{Confiabilidad} = \frac{TMEF}{TMEF + TMPR} = \frac{12.96}{14.65} = 88.41 \%$$

MANTENIBILIDAD: La mantenibilidad es igual a:

$$\text{Mantenibilidad} = 1.70 \text{ horas}$$

FIABILIDAD: Es igual a :

$$\text{Fiabilidad} = TMEF = 12.96 \text{ horas}$$

c. INDICES DE DESEMPEÑO:

INDICE DE INTERFERENCIA CORRECTIVA IMC: Este indicador evalúa el porcentaje de horas destinadas a mantenimiento correctivo en relación al número total de horas, según la ecuación N° 24

$$IMC = \frac{HMCT}{HMCT + HOT + HMPT} = \frac{236}{236 + 1800 + 41} * 100\% = 11.36 \%$$

Dónde:

HMCT = Horas Totales de Mantenimiento correctivo = 236 horas

HOT = Horas totales de operación = 1,800 horas

HMPT = Horas totales de Mantenimiento correctivo = 41 horas

INDICE DE INTERFERENCIA PREVENTIVA IMP: Este indicador evalúa el porcentaje de horas destinadas a mantenimiento preventivo en relación al número total de horas, según la ecuación N° 25:

$$IMP = \frac{HMPT}{HMCT + HOT + HMPT} = \frac{41}{236 + 1800 + 41} * 100\% = 1.97\%$$

INDICE DE CONFIABILIDAD OPERACIONAL ICO: Este indicador evalúa el porcentaje de horas destinadas al alquiler de las maquinas en relación al número total de horas , según la ecuación N° 26:

$$ICO = \frac{1800}{236 + 1800 + 41} * 100\% = 86.66 \%$$

INDICE DE COSTO DE MANTENIMIENTO ICM: Relaciona el costo de mantenimiento entre el costo de alquiler , según la ecuación 27:

$$ICM = \frac{CMT}{HOT * Costo Alquiler} * 100 \% = \frac{26,460.29}{(1800 * 60)} = 24.50 \%$$

4.1.7 EVALUACION DE INDICADORES ENERGETICOS:

a. CONSUMO DE ENERGIA:

Se tiene así mismo el consumo y costo de energía en los meses de evaluación del Petróleo Diesel B5:

Cuadro N° 20 Consumo y costo de Diesel B5 Excavadora 322D N° 3

N°	MES	HORAS	CONSUMO(Gal/mes)	INDICADOR HORARIO (Gal/h)	COSTO(U\$/mes)	INDICADOR(U\$/h)
1	Enero	290	1845	6.362	7195.50	24.812
2	Febrero	310	1910	6.161	7449.00	24.029
3	Marzo	330	2061	6.245	8037.90	24.357
4	Abril	270	2181	8.078	8505.90	31.503
5	Mayo	270	2010	7.444	7839.00	29.033
6	Junio	330	2241	6.791	8739.90	26.485
TOTAL		1800	12248	6.804	47767.20	26.537

Fuente: Elaboración propia

b. INDICADORES ENERGETICOS:

Se tienen los siguientes indicadores energéticos:

INDICADOR ENERGETICO N°1

$$IE1 = \frac{\text{Galones de Diesel B5 6 meses}}{\text{Horas totales operativas 6 meses}} = \frac{12,248}{1,800} = 6.804 \frac{\text{Diesel B5}}{\text{hora}}$$

INDICADOR ENERGETICO N° 2 :

$$IE2 = \frac{\text{Galones de Diesel B5 /h}}{\text{Mantenibilidad (horas)}} = \frac{6.804 \frac{\text{Diesel B5}}{\text{hora}}}{1.7 \text{ horas}} =$$

$$IE2 = 4.01 \frac{\text{Diesel B5}}{\text{hora} - \text{TMPR}}$$

INDICADOR ENERGETICO N° 3

$$IE3 = \frac{\text{Galones de Diesel B5 /h}}{\text{Fiabilidad (horas)}} = \frac{6.804 \frac{\text{Diesel B5}}{\text{hora}}}{12.95 \text{ horas}}$$

$$IE3 = 0.525 \frac{\text{Diesel B5}}{\text{hora} - \text{TMEF}}$$

INDICADOR ENERGETICO N° 4 :

$$IE4 = \frac{\text{Galones de Diesel B5/hora}}{\text{Numero de fallas}} = \frac{6.804}{139} = 0.0490 \frac{\text{Galones de Diesel B5}}{\text{hora} - \text{falla}}$$

INDICADOR ENERGETICO N° 5 :

$$IE5 = \frac{\text{Galones de Diesel B5/hora}}{\text{Horas Mantenimiento Correctivo}} = \frac{6.804}{236}$$

$$IE3 = 0.0288 \frac{\text{Diesel B5}}{\text{hora} - \text{HMC}}$$

4.1.8 RESUMEN FLOTA DE EXCAVADORAS 322D:

Se presenta el resumen de información de la flota de 08 Excavadoras 322D tomadas como muestra de estudio.

Cuadro N° 21 Ocurrencia de fallas en Flota de Excavadoras 322D-Periodo Inicial

N°	SISTEMA	SUBSISTEMA	EXCAV.N°1	EXCAV.N°2	EXCAV.N°3	EXCAV.N°4	EXCAV.N°5	EXCAV.N°6	EXCAV.N°7	EXCAV.N°8	TOTAL
1	Potencia	MOTOR PRINCIPAL	2	1	4	3	2	4	3	2	21
2	Potencia	ADMISION Y ESCAPE	1	1	2	3	3	1	2	2	15
3	Potencia	ENFRIAMIENTO	2	3	4	2	2	1	2	4	20
4	Potencia	INYECCION	2	1	2	1	1	1	3	2	13
5	Potencia	LUBRICACION	2	3	3	1	4	4	3	5	25
6	Eléctrico-Electronico	ILUMINACION	17	15	22	21	14	12	12	17	130
7	Eléctrico-Electronico	ELECTRICO	8	7	9	12	8	10	10	8	72
8	Eléctrico-Electronico	CONTROL	6	8	10	8	8	8	12	6	66
9	Motriz	TRANSMISION	7	5	11	10	4	2	8	2	49
10	Motriz	FRENOS	2	1	6	4	5	3	6	6	33
11	Motriz	NEUMATICOS	4	3	7	4	2	4	10	5	39
12	Motriz	DIRECCION	8	4	14	8	10	7	11	5	67
13	Hidráulico	BOMBA	2	2	3	2	2	4	4	7	26
14	Hidráulico	DISTRIBUCION	12	7	24	21	12	11	18	7	112
15	Hidráulico	ACTUADORES	2	3	5	4	4	6	6	8	38
16	Hidráulico	COMPONENTES	4	3	5	6	6	7	5	6	42
17	Estructural	PARACHOQUE	1	1	2	3	3	1	2	1	14
18	Estructural	BASTIDOR	2	2	3	2	1	1	4	1	16
19	Estructural	CARROCERIA	1	2	3	1	3	3	2	2	17
TOTAL			85	72	139	116	94	90	123	96	815

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 22 Desempeño del mantenimiento en Flota de Excavadoras 322D-Periodo Inicial

	EXCAV.N°1	EXCAV.N°2	EXCAV.N°3	EXCAV.N°4	EXCAV.N°5	EXCAV.N°6	EXCAV.N°7	EXCAV.N°8	TOTAL	
HORAS MANTENIMIENTO CORRECTIVO	159.5	131.5	236	182	167	161	217.5	199.5	181.8	
COSTO TOTAL MANTENIMIENTO CORRECTIVO(US\$)	5010.11	4019.35	7840.89	6156.83	5496.39	5459.83	7895.11	6134.11	6001.58	
COSTO TOTAL MANTENIMIENTO PREVENTIVO(US\$)	4459.40	4459.40	4459.40	4459.40	4459.40	4459.40	4459.40	4459.40	4459.40	
COSTO DE IND. OPERATIVA POR MANTENIMIENTO(US\$)	9570.00	7890.00	14160.00	10920.00	10020.00	9660.00	13050.00	11970.00	10905.00	
COSTO DE MANTENIMIENTO TOTAL	19039.51	16368.75	26460.29	21536.23	19975.79	19579.23	25404.51	22563.51	21365.98	
INDICADORES DE MANTENIMIENTO										
HORAS TOTALES DE OPERACIÓN	1750	1700	1800	1800	1700	1650	1750	1800	1743.8	
KPI	TMEF(HORAS)	20.59	23.61	12.96	15.52	18.09	18.33	14.23	18.75	17.8
	TMPR(HORAS)	1.88	1.83	1.70	1.57	1.78	1.79	1.77	2.08	1.8
	TMPP(HORAS)	22.46	25.44	14.66	17.09	19.86	20.12	16.00	20.83	19.6
INDICADORES DE MANTENIMIENTO										
DISPONIBILIDAD	90.89%	92.26%	86.89%	89.89%	90.18%	90.24%	87.57%	88.92%	89.60%	
CONFIABILIDAD	91.65%	92.82%	88.42%	90.82%	91.06%	91.11%	88.95%	90.02%	90.60%	
MANTENIBILIDAD(Horas)	1.88	1.83	1.70	1.57	1.78	1.79	1.77	2.08	1.8	
FIABILIDAD(Horas)	20.59	23.61	12.96	15.52	18.09	18.33	14.23	18.75	17.8	
INDICADORES DE DESEMPEÑO										
INDICE DE INTERFERENCIA CORRECTIVA IMC	8.18%	7.02%	11.36%	9.00%	8.75%	8.69%	10.83%	9.78%	9.20%	
INDICE DE INTERFERENCIA PREVENTIVA IMP	2.10%	2.19%	1.97%	2.03%	2.15%	2.21%	2.04%	2.01%	2.09%	
INDICE DE CONFIABILIDAD OPERACIONAL ICO	89.72%	90.79%	86.66%	88.98%	89.10%	89.09%	87.13%	88.21%	88.71%	
INDICE DE COSTO DE MANTENIMIENTO ICM	18.13%	16.05%	24.50%	19.94%	19.58%	19.78%	24.19%	20.89%	20.38%	

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 23 Desempeño de Indicadores Energéticos en Flota de Excavadoras 322D-Periodo Inicial

	EXCAV.N°1	EXCAV.N°2	EXCAV.N°3	EXCAV.N°4	EXCAV.N°5	EXCAV.N°6	EXCAV.N°7	EXCAV.N°8	TOTAL
COMBUSTIBLE DIESEL B5									
CONSUMO(Gal/periodo de analisis)	12045	10895	12248.00	12123	11785	11052	11784	11956	11736.0
INDICADOR HORARIO(Gal/h)	6.883	6.409	6.804	6.735	6.932	6.698	6.734	6.642	6.730
COSTO(US\$/periodo de analisis)	46975.50	42490.50	47767.20	47279.70	45961.50	43102.80	45957.60	46628.40	45770.40
INDICADOR(US\$/hora)	26.843	24.994	26.537	26.267	27.036	26.123	26.261	25.905	26.246
INDICADORES ENERGETICOS									
IE1 (Diesel B5)/hora	6.883	6.409	6.804	6.735	6.932	6.698	6.734	6.642	6.730
IE2 (Diesel B5)/(hora-TMPR)	3.67	3.51	4.01	4.29	3.90	3.74	3.81	3.20	3.77
IE3 (Diesel B5)/(hora-TMEF)	0.3343	0.2714	0.5250	0.4340	0.3833	0.3654	0.4733	0.3543	0.3926
IE4 (Galones de Diesel B5)/(hora-falla)	0.0810	0.0890	0.0490	0.0581	0.0737	0.0744	0.0547	0.0692	0.0686
IE5 (Diesel B5)/(hora-HMC)	0.0432	0.0487	0.0288	0.0370	0.0415	0.0416	0.0310	0.0333	0.0381

Fuente: Elaboración propia

4.2 EVALUACION DEL ESTADO DE INDICADORES DE CAMIONES VOLQUETE

PERIODO INICIAL: La evaluación se realiza para el camión volquete N° 2 , luego en los cuadros resúmenes se analiza el comportamiento de las 7 máquinas restantes.

4.2.1 OCURRENCIA DE FALLAS:

Se presenta la lista de fallas que se suscitan para un periodo de 6 meses (Enero-Junio 2014) para el camión volquete N° 2 la cual se encuentra con un grado de criticidad importante.

Cuadro N° 24 Ocurrencia de fallas Camión Volquete N° 2

N°	SISTEMA	SUBSISTEMA	OCURRENCIAS	HORAS DE PARADA	TOTAL HORAS
1	Potencia	MOTOR PRINCIPAL	5	4	20
2	Potencia	ADMISION Y ESCAPE	3	2.5	7.5
3	Potencia	ENFRIAMIENTO	3	3	9
4	Potencia	INYECCION	3	5	15
5	Potencia	LUBRICACION	3	2.5	7.5
6	Eléctrico-Electronico	ILUMINACION	18	0.5	9
7	Eléctrico-Electronico	ELECTRICO	10	1.5	15
8	Eléctrico-Electronico	CONTROL	12	0.5	6
9	Motriz	TRANSMISION	12	3	36
10	Motriz	FRENOS	8	2.5	20
11	Motriz	NEUMATICOS	8	2	16
12	Motriz	DIRECCION	10	2.5	25
13	Hidráulico	BOMBA	2	4	8
14	Hidráulico	DISTRIBUCION	16	1.5	24
15	Hidráulico	ACTUADORES	14	1.5	21
16	Hidráulico	COMPONENTES	10	1.5	15
17	Estructural	PARACHOQUE	3	2	6
18	Estructural	BASTIDOR	2	1.5	3
19	Estructural	CARROCERIA	2	1.5	3
TOTAL			144	43	266

Fuente: Elaboración propia

4.2.2 DETERMINACION DE LOS COSTOS POR MANTENIMIENTO CORRECTIVO:

a. DETERMINACION DEL COSTO UNITARIO:

Se toma como referencia el Costo Unitario obtenido en el ítem 4.1.2:

$$\text{Jornal Horario Promdio} = 5.30 \text{ U\$/hora}$$

b. COSTO DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO:

- Se tienen los siguientes datos para evaluar el costo de mantenimiento correctivo para reparación de Fuga de aceite por la bomba hidráulica de dirección de sistema motriz /subsistema de dirección del Camión Volquete 777G N° 2:

JH = Jornal Horario (U\$/hr) = 5.30

HDP = Horas de parada del equipo = 2.5

CPM = Cantidad de personal para el mantenimiento = 2

- Número de horas hombre:

$$NHH = 2.5 * 2 = 5 HH$$

- Costo de Mano de obra:

$$CMO = 5.3 * 5 = 26.50 U\$$$

- Costo de Repuesto

$$CR = 50 U\$$$

- Costo de mantenimiento correctivo por falla unitaria:

$$CMCFU = 26.50 + 50.00 = 76.50 U\$$$

- Se tiene un número de ocurrencias igual a 3.

- Costo de mantenimiento correctivo por falla

$$CMCF = 3 * 76.50 = 229.50 U\$$$

- Se presenta un cuadro resumen de los costos por falla para cada uno de los sistemas analizados, con un total de 144, lo cual reporta 243.5 horas de paradas correctivas y con un costo de 8,348.77 U\$.

Cuadro N° 25-A Costo de Mantenimiento correctivo en Camión Volquete N° 2

CODIGOS DE FALLAS	SISTEMAS	SUB - SISTEMAS	DESCRIPCION DE FALLAS	HORAS DE PARADA	CANT. DE PERSONAL	HORAS HOMBRES (HH)	COSTO DE REPUESTOS (CR)	COSTO DE MANO OBRA (MO)	COSTO TOTAL (CT)	OCURRENCIAS	HORAS PERDIDAS (HP)	COSTO M.C.(U\$)
1	Potencia	Motor	Válvulas de la bomba de tran	4	2	8	30	42.4	72.4	2	8	144.8
2	Potencia	Motor	Rotura de la faja del motor	4	2	8	40	42.4	82.4	3	12	247.3
3	Potencia	Admision y escape	Pase de aceite de motor por	2.5	2	5	25	26.5	51.5	3	7.5	154.5
4	Potencia	Enfriamiento	Radiador de aire (Intercooler)	3	2	6	25	31.8	56.8	1	3	56.8
5	Potencia	Enfriamiento	Fuga de liquido refrigerante p	3	2	6	20	31.8	51.8	2	6	103.6
6	Potencia	Inyeccion	Caida de presion en inyector	5	2	10	120	53.0	173.0	3	15	519.1
7	Potencia	Lubricacion	Mal funcionamiento de bomba	2.5	2	5	80	26.5	106.5	3	7.5	319.5
8	Eléctrico	Iluminacion	Faros de luz baja no enciend	0.5	1	0.5	10	2.7	12.7	5	2.5	63.3
9	Eléctrico	Iluminacion	Faros de luz alta no enciend	0.5	1	0.5	10	2.7	12.7	3	1.5	38.0
10	Eléctrico	Iluminacion	Faro de luz de retroceso no e	0.5	1	0.5	10	2.7	12.7	3	1.5	38.0
11	Eléctrico	Iluminacion	Soquete de faros delanteros	0.5	1	0.5	10	2.7	12.7	3	1.5	38.0
12	Eléctrico	Iluminacion	Conectores del arnés de faro	0.5	1	0.5	12	2.7	14.7	2	1	29.3
13	Eléctrico	Iluminacion	Luces laterales de la tolva, n	0.5	1	0.5	15	2.7	17.7	2	1	35.3
14	Eléctrico	Electrico	El arrancador no responde, e	1.5	2	3	40	15.9	55.9	4	6	223.6
15	Eléctrico	Eléctrico	Alternador no genera carga	1.5	2	3	50	15.9	65.9	3	4.5	197.7
16	Eléctrico	Eléctrico	La batería no retiene carga	1.5	2	3	40	15.9	55.9	3	4.5	167.7
17	Eléctrico	Control	Alarma no funciona	0.5	1	0.5	15	2.7	17.7	6	3	105.9
18	Eléctrico	Control	Solenoide de apagado de mo	0.5	1	0.5	20	2.7	22.7	6	3	135.9
										40	30.0	1072.64

Fuente : Elaboración propia

Cuadro N° 25-B Costo de Mantenimiento correctivo en Camión Volquete N° 2

CODIGOS DE FALLAS	SISTEMAS	SUB - SISTEMAS	DESCRIPCION DE FALLAS	HORAS DE PARADA	CANT. DE PERSONAL	HORAS HOMBRES (HH)	COSTO DE REPUESTOS (CR)	COSTO DE MANO OBRA (MO)	COSTO TOTAL (CT)	OCURENCIAS	HORAS PERDIDAS (HP)	COSTO M.C(US)
19	Motriz	Transmision	Pedal de embrague se encue	3	2	6	70	31.8	101.8	4	12	407.3
20	Motriz	Transmision	Reten de rueda delantera de	3	2	6	40	31.8	71.8	4	12	287.3
21	Motriz	Transmision	Fuga de aceite por el reten d	3	2	6	30	31.8	61.8	4	12	247.3
22	Motriz	Frenos	Fugas de aire por las cañería	2.5	2	5	30	26.5	56.5	2	5	113.0
23	Motriz	Frenos	Fuga de aire por la válvula de	2.5	2	5	30	26.5	56.5	2	5	113.0
24	Motriz	Frenos	Regulación de los frenos de	2.5	2	5	40	26.5	66.5	1	2.5	66.5
25	Motriz	Frenos	Pulmón de freno (maxibrake)	2.5	2	5	35	26.5	61.5	1	2.5	61.5
26	Motriz	Frenos	Desgaste interior de los tamb	2.5	3	7.5	45	39.8	84.8	1	2.5	84.8
27	Motriz	Frenos	Fajas de las zapatas de fren	2.5	2	5	50	26.5	76.5	1	2.5	76.5
28	Motriz	Neumáticos	Neumático se baja	2	3	6	40	31.8	71.8	6	12	430.9
29	Motriz	Neumáticos	Neumáticos con desgaste de	2	2	4	200	21.2	221.2	2	4	442.4
30	Motriz	Dirección	Fuga de aceite por la bomba	2.5	2	5	50	26.5	76.5	3	7.5	229.5
31	Motriz	Dirección	Terminales de la barra larga	2.5	2	5	60	26.5	86.5	7	17.5	605.6
										38	97	3165.68
32	Hidráulico	Bomba	Ruido en el interior de la Tom	4	3	12	60	63.6	123.6	1	4	123.6
33	Hidráulico	Bomba	Fuga de aceite por el sw itch	4	2	8	40	42.4	82.4	1	4	82.4
34	Hidráulico	Distribucion	Fuga de aceite por la mangu	1.5	2	3	30	15.9	45.9	7	10.5	321.4
35	Hidráulico	Distribucion	Fuga de aceite por el niple de	1.5	2	3	30	15.9	45.9	7	10.5	321.4
36	Hidráulico	Distribucion	Fuga de aceite por la electro	1.5	2	3	30	15.9	45.9	2	3	91.8
37	Hidráulico	Actuadores	Desgaste de las guías tipo pa	1.5	2	3	30	15.9	45.9	5	7.5	229.5
38	Hidráulico	Actuadores	Fuga de aceite por el reten d	1.5	2	3	40	15.9	55.9	5	7.5	279.5
39	Hidráulico	Actuadores	Fuga de aceite por el reten d	1.5	2	3	45	15.9	60.9	4	6	243.6
40	Hidráulico	Componentes	El resorte para seguros de g	1.5	2	3	40	15.9	55.9	8	12	447.3
41	Hidráulico	Componentes	Desgaste de las guías de ext	1.5	2	3	50	15.9	65.9	2	3	131.8
										42	68	2272.42
42	Estructural	Estructural	Parachoques posterior se en	2	2	4	50	21.2	71.2	3	6	213.6
43	Estructural	Estructural	Barandas de la tolva se encu	1.5	2	3	45	15.9	60.9	2	3	121.8
44	Estructural	Estructural	Fisuras de los travesaños er	1.5	2	3	50	15.9	65.9	2	3	131.8
										7	12	467.27
TOTAL										144	266	8523.77

Fuente : Elaboración propia

4.2.3 DETERMINACION DE COSTOS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO:

- Para el Mantenimiento preventivo en función al tiempo , la secuencia de trabajo se ha organizado primariamente según las recomendaciones del fabricante , con las siguientes características rutinarias:

MP1 = Mantenimiento mensual (30 días)

MP2 = Mantenimiento 1 mes y medio (Entre los 42 y 45 días)

MP3 = Mantenimiento trimestral (90 días)

MP4 = Mantenimiento semestral (180 días)

- Se tienen las ordenes de servicio de mantenimiento preventivo con lo referente a los filtros del Motor CAT C32 ACERT, filtros del sistema hidráulico de la tolva articulada , aceites y grasas para los distintos puntos de engrase.

Cuadro N° 26 Mantenimiento Preventivo-Filtros de Motor en Camión Volquete N° 2

FILTROS MOTOR C32 ACERT -SISTEMA DE POTENCIA					ORDEN DE SERVICIO
DESCRIPCION	CODIGO	CANT. (UN)	COSTO (US\$)		
			UNITARIO	TOTAL	
COMBUSTIBLE PRIMARIO	FB62627	1	30.00	30.00	MP3
COMBUSTIBLE SECUNDARIO	FF5052	1	22.00	22.00	MP3
ACEITE MOTOR	LF3000	1	60.00	60.00	MP3
AGUA	WF2073	1	32.00	32.00	MP2
AIRE PRIMARIO	S3214	1	65.00	65.00	MP3
AIRE SECUNDARIO	D 182049	1	60.00	60.00	MP3
ACEITE CAJA DIRECCION	MOBIL SHC GEAR 220	1	40.00	40.00	MP4

Fuente : Elaboración propia

Cuadro N° 27 Mantenimiento Preventivo-Filtros de Tolva articulada en Camión Volquete N° 2

FILTROS TOLVA ARTICULADA -SISTEMA HIDRAULICO					ORDEN DE SERVICIO
DESCRIPCION	CODIGO	CANT. (UN)	COSTO (US\$)		
			UNITARIO	TOTAL	
HIDRAULICO (Circuito Alta Presion)	EA 1392	1	80.0	80.00	MP4
HIDRAULICO (Circuito de Retorno)	EA 1761	1	60.0	60.00	MP4
HIDRAULICO (Circuito de alivio)	EA 1814	1	60.0	60.00	MP4

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 28 Mantenimiento Preventivo-Aceites Camión Volquete N° 2

ACEITES					ORDEN DE SERVICIO
DESCRIPCION	CODIGO	CANT. (GAL)	COSTO (US\$)		
			UNITARIO	TOTAL	
MOTOR	RIMULAW15X40	6	45.00	270.00	MP3
DIRECCION	ATF SPECIAL	1.5	40.00	60.00	MP3
SISTEMA HIDRAULICO	TELLUS 46	25	42.00	1050.00	MP3
CAJA DE TRANSMISION	MOBIL 600XP	5	35.00	175.00	MP3
CORONAS / DIFERENCIAL	CAT GO 80W-90	4	30.00	120.00	MP3
CUBOS	SAE 85W40	4	20.00	80.00	MP3
LIQUIDO REFRIGERANTE	CAT DEAC	5	25.00	125.00	MP3

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 29 Mantenimiento Preventivo- Camión Volquete N° 2

GRASAS					ORDEN DE SERVICIO
DESCRIPCION	CODIGO	CANT. (KG)	COSTO (US\$)		
			UNITARIO	TOTAL	
PUNTOS DE LUBRICACION	MULTIPROPOSITO NLG2	1.8	32.00	57.60	MP1
GUIAS DE LAS EXTENSIONES	MULTIPROPOSITO NLG3	1.5	30.00	45.00	MP2

Fuente: Elaboración propia

- Se determinan seguidamente los costos de mantenimiento preventivo para cada una de las ordenes de servicio para cada mantenimiento preventivo

Para la ORDEN DE SERVICIO MP1 se tiene el siguiente costo :

$$\text{Costo MP1} = \text{U\$ } 57.60$$

Para la ORDEN DE SERVICIO MP2 se tiene el siguiente costo :

$$\text{Costo MP2} = 45.00 + 32.00 = \text{U\$ } 77.00$$

Para la ORDEN DE SERVICIO MP3 se tiene el siguiente costo:

$$\begin{aligned} \text{Costo MP3} &= 30.00 + 22.00 + 60.00 + 65.00 + 60.00 + \dots \\ &\dots 270.00 + 60.00 + 1050.00 + 175.00 + 120.00 + 80.00 + 125.00 = \text{U\$ } 2,117.00 \end{aligned}$$

Para la ORDEN DE SERVICIO MP4 se tiene el siguiente costo:

$$\text{Costo MP4} = \text{U\$ } 240.00$$

- Se tienen los cálculos para los costos de mantenimiento preventivo para cada uno de los periodos de trabajo establecidos para la máquina.

Para el periodo MENSUAL se tiene el siguiente costo:

$$\text{Costo MP mensual} = \text{Costo MP1} = \text{U\$ } 57.60$$

Para el periodo MES Y MEDIO se tiene el siguiente costo :

$$\text{Costo MP Mes y medio} = \text{Costo MP2} = \text{U\$ } 77.00$$

Para el periodo TRIMESTRAL se tiene el siguiente costo:

$$\begin{aligned} \text{Costo MP Trimestral} &= \text{Costo MP3} + \text{Costo MP2} + \text{Costo MP1} \\ \text{Costo MP Trimestral} &= 2,117.00 + 77.00 + 57.60 = 2,251.00 \text{ U\$} \end{aligned}$$

Para el periodo SEMESTRAL se tiene el siguiente costo:

$$\begin{aligned} \text{Costo MP Semestral} &= \text{Costo MP4} + \text{Costo MP3} + \text{Costo MP2} + \text{Costo MP1} \\ \text{Costo MP4} &= 240.00 + 2,251.00 = 2,491.60 \text{ U\$} \end{aligned}$$

Cuadro N° 30 Costo de Mantenimiento Preventivo por periodos Camión Volquete N° 2

PERIODO	CODIGO	Orden de servicio	COSTO Mpi(U\$)
Mensual	MP1	Servicio realizado a las 300 horas	57.60
Mes y medio	MP2	Servicio realizado a las 450 horas	77.00
Mensual	MP1	Servicio realizado a las 600 horas	57.60
Trimestral	MP3	Servicio realizado a las 900 horas	2251.60
Mensual	MP1	Servicio realizado a las 1,200 horas	57.60
Mes y medio	MP2	Servicio realizado a las 1,350 horas	77.00
Mensual	MP1	Servicio realizado a las 1,500 horas	57.60
Semestral	MP4	Servicio realizado a las 1,800 horas	2491.60

Fuente: Elaboración propia

Se tienen un costo de mantenimiento preventivo para el periodo de evaluación de 6 meses igual a:

$$CMP = 57.60 + 77.00 + 57.60 + 2,251.60 + 57.60 + 57.60 + 77.00 + 2,491.60$$

$$CMP = 5,127.60 \text{ U\$}$$

Se detallan así mismo las horas dedicadas al mantenimiento preventivo:

$$HMP1 = 4 \text{ horas} * 1 \text{ operador} = 4 * 5.30 = 21.20 \text{ U\$}$$

$$HMP2 = 3 \text{ horas} * 1 \text{ operador} = 3 * 5.30 = 15.90 \text{ U\$}$$

$$HMP3 = 6 \text{ horas} * 2 \text{ operadores} = 6 * 2 * 5.30 = 63.60 \text{ U\$}$$

$$HMP4 = 9 \text{ horas} * 2 \text{ operadores} = 9 * 2 * 5.30 = 95.40 \text{ U\$}$$

Se determinan los Costos por mano de obra en MP, según el siguiente cuadro:

Cuadro N° 31 Costo de Mantenimiento Preventivo Mano de Obra Camión Volquete N° 2

PERIODO	CODIGO	Orden de servicio	COSTO MOMP(U\$)	HORAS
Mensual	MP1	Servicio realizado a las 300 horas	21.20	4
Mes y medio	MP2	Servicio realizado a las 450 horas	15.90	3
Mensual	MP1	Servicio realizado a las 600 horas	21.20	4
Trimestral	MP3	Servicio realizado a las 900 horas	63.60	12
Mensual	MP1	Servicio realizado a las 1,200 horas	21.20	4
Mes y medio	MP2	Servicio realizado a las 1,350 horas	15.90	3
Mensual	MP1	Servicio realizado a las 1,500 horas	21.20	4
Semestral	MP4	Servicio realizado a las 1,800 horas	95.40	18
TOTAL			275.60	52

Fuente: Elaboración propia

Se tienen un costo de mantenimiento preventivo en mano de obra para el periodo de evaluación de 6 meses igual a:

$$CMOMP = 21.20 + 15.90 + 21.20 + 63.60 + 21.20 + 15.90 + 21.20 + 95.40$$

$$CMOMP = 275.60 \text{ U\$}$$

Los costos totales de mantenimiento preventivo se obtienen sumando el CMP y CMOMP:

$$CTMP = 5,127.60 + 275.60 = 5,403.20 \text{ U\$}$$

4.2.4 DETERMINACION DE LOS COSTOS DE INDISPONIBILIDAD OPERATIVA POR MANTENIMIENTO:

El Costo de indisponibilidad operativa por mantenimiento (CIOM)Este indicador nos evalúa el costo asociado a las horas que se dedican a mantenimiento correctivo bajo el criterio de que las maquinas han sido alquiladas.

Horas perdidas por mantenimiento correctivo HPMC = 266 horas

Costo alquiler maquina hora = 60 U\$

$$CIOM = (HPMC) * \text{costo alquiler maquina hora}$$

$$CIOM = 266 * 60 = 15,960.00 \text{ U\$}$$

4.2.5 DETERMINACION DE LOS COSTOS DE MANTENIMIENTO TOTALES:

Se tienen los siguientes datos para poder determinar los costos de mantenimiento totales:

Costo total de mantenimiento correctivo = CTMC = U\$ 8,523.77

Costo total de mantenimiento preventivo = CTMP = U\$ 5,403.20

Costo de indisponibilidad operativa por mantenimiento = CIOM = U\$ 15,960.00

$$CMT = 8,523.70 + 5,403.20 + 15,960.00 = 29,886.97 \text{ U\$}$$

Los Costos unitarios mensuales de mantenimiento, para un periodo de evaluación de 6 meses son:

Costo unitario total de mantenimiento correctivo = CUTMC = 1,420.63 U\$

Costo unitario total de mantenimiento preventivo = CUTMP = 900.53 U\$

Costo unitario de indisponibilidad operativa por mantenimiento = CUIOM = 2,660.00 U\$

Costo de Mantenimiento Total = 4,981.16 U\$

4.2.6 EVALUACION DE INDICADORES DE MANTENIMIENTO:

a. DETERMINACION DE LOS KPI DE MANTENIMIENTO:

TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS (TMEF): Se evalúa según la ecuación N° 1:

Para un total de 1,700 horas de operación :

$$TMEF = MTBF = \frac{1,700}{144} = 11.81 \text{ horas}$$

Dónde:

HTO = Son la suma total de horas de operaciones efectuadas en un periodo de tiempo de análisis= 1,700 horas

NF= Numero de fallas ocurridas en un periodo de tiempo analizado= 144 fallas

TIEMPO MEDIO PARA LA REPARACIÓN (TMPR): Este valor se evalúa según la ecuación N° 2:

$$TMPR = MTTR = \frac{266}{144} = 1.85 \text{ horas}$$

Dónde:

HTP = Horas totales de parada o fuera de servicio=266 horas

TIEMPO MEDIO PARA FALLAS (TMPF) :

Este indicador se evalúa según la ecuación N° 3:

$$TMPF = MTTF = TMEF + TMPR = 11.81 + 1.85 = 13.65 \text{ horas}$$

b. INDICADORES DE MANTENIMIENTO:

DISPONIBILIDAD:

La disponibilidad de un equipo se evalúa según la ecuación N° 4:

$$Disponibilidad = \frac{1,700 - 266}{1,700} * 100\% = 84.35 \%$$

CONFIABILIDAD: Se evalúa según la ecuación N° 5:

$$Confiabilidad = \frac{TMEF}{TMEF + TMPR} = \frac{11.81}{13.65} * 100\% = 86.47 \%$$

MANTENIBILIDAD: La mantenibilidad es igual a:

$$\text{Mantenibilidad} = 1.85 \text{ horas}$$

FIABILIDAD: Es igual a :

$$\text{Fiabilidad} = \text{TMEF} = 11.81 \text{ horas}$$

c. INDICES DE DESEMPEÑO:

INDICE DE INTERFERENCIA CORRECTIVA IMC: Este indicador evalúa el porcentaje de horas destinadas a mantenimiento correctivo en relación al número total de horas, según la ecuación N° 24

$$IMC = \frac{HMCT}{HMCT + HOT + HMPT} = \frac{266}{266 + 1700 + 52} * 100\% = 13.18 \% \%$$

Dónde:

HMCT = Horas Totales de Mantenimiento correctivo = 266 horas

HOT = Horas totales de operación = 1,700 horas

HMPT = Horas totales de Mantenimiento correctivo = 52 horas

INDICE DE INTERFERENCIA PREVENTIVA IMP: Este indicador evalúa el porcentaje de horas destinadas a mantenimiento preventivo en relación al número total de horas, según la ecuación N° 25:

$$IMP = \frac{HMPT}{HMCT + HOT + HMPT} = \frac{52}{266 + 1700 + 52} * 100\% = 2.58\%$$

INDICE DE CONFIABILIDAD OPERACIONAL ICO: Este indicador evalúa el porcentaje de horas destinadas al alquiler de las maquinas en relación al número total de horas , según la ecuación N° 26:

$$ICO = \frac{1700}{266 + 1700 + 52} * 100\% = 84.24 \%$$

INDICE DE COSTO DE MANTENIMIENTO ICM: Relaciona el costo de mantenimiento entre el costo de alquiler , según la ecuación 27:

$$ICM = \frac{CMT}{HOT * Costo Alquiler} * 100 \% = \frac{29,886.97}{(1700 * 60)} = 29.30 \%$$

4.2.7 EVALUACION DE INDICADORES ENERGETICOS:

a. CONSUMO DE ENERGIA:

Se tiene así mismo el consumo y costo de energía en los meses de evaluación del Petróleo Diesel B5:

Cuadro N° 32 Consumo y costo de Diesel B5 Camión Volquete N° 2

N°	MES	HORAS	CONSUMO(Gal/mes)	INDICADOR HORARIO (Gal/h)	COSTO(U\$/mes)	INDICADOR(U\$/h)
1	Enero	270	1485	5.500	5791.50	21.450
2	Febrero	280	1542	5.507	6013.80	21.478
3	Marzo	300	1601	5.337	6243.90	20.813
4	Abril	280	1523	5.439	5939.70	21.213
5	Mayo	290	1545	5.328	6025.50	20.778
6	Junio	280	1512	5.400	5896.80	21.060
TOTAL		1700	9208	5.416	35911.20	21.124

Fuente: Elaboración propia

b. INDICADORES ENERGETICOS:

Se tienen los siguientes indicadores energéticos:

INDICADOR ENERGETICO N°1

$$IE1 = \frac{Galones de Diesel B5 \ 6 \ meses}{Horas \ totales \ operativas \ 6 \ meses} = \frac{9,208.00}{1,700} = 5.416 \frac{Diesel \ B5}{hora}$$

INDICADOR ENERGETICO N° 2 :

$$IE2 = \frac{\text{Galones de Diesel B5 /h}}{\text{Mantenibilidad (horas)}} = \frac{5.416 \frac{\text{Diesel B5}}{\text{hora}}}{1.85 \text{ horas}} =$$
$$IE2 = 2.93 \frac{\text{Diesel B5}}{\text{hora} - \text{TMPR}}$$

INDICADOR ENERGETICO N° 3

$$IE3 = \frac{\text{Galones de Diesel B5 /h}}{\text{Fiabilidad (horas)}} = \frac{5.416 \frac{\text{Diesel B5}}{\text{hora}}}{11.81 \text{ horas}}$$
$$IE3 = 0.459 \frac{\text{Diesel B5}}{\text{hora} - \text{TMEF}}$$

INDICADOR ENERGETICO N° 4 :

$$IE4 = \frac{\text{Galones de Diesel B5/hora}}{\text{Numero de fallas}} = \frac{5.416}{144} = 0.0376 \frac{\text{Galones de Diesel B5}}{\text{hora} - \text{falla}}$$

INDICADOR ENERGETICO N° 5 :

$$IE5 = \frac{\text{Galones de Diesel B5/hora}}{\text{Horas Mantenimiento Correctivo}} = \frac{5.416}{266}$$
$$IE3 = 0.0204 \frac{\text{Diesel B5}}{\text{hora} - \text{HMC}}$$

4.2.8 RESUMEN FLOTA DE CAMIONES VOLQUETE EXCAVADORAS 322D:

Se presenta el resumen de información de la flota de 08 Excavadoras 777G CAT tomadas como muestra de estudio.

Cuadro N°33 Ocurrencia de fallas en Flota de Camiones Volquete 777G CAT -Periodo Inicial

N°	SISTEMA	SUBSISTEMA	VOLQ .N°1	VOLQ .N°2	VOLQ .N°3	VOLQ .N°4	VOLQ .N°5	VOLQ .N°6	VOLQ .N°7	VOLQ .N°8	TOTAL
1	Potencia	MOTOR PRINCIPAL	2	5	5	4	5	4	2	2	29
2	Potencia	ADMISION Y ESCAPE	4	3	2	4	2	1	2	2	20
3	Potencia	ENFRIAMIENTO	4	3	2	3	5	1	2	4	24
4	Potencia	INYECCION	2	3	2	4	5	1	2	2	21
5	Potencia	LUBRICACION	4	3	2	3	2	4	2	2	22
6	Eléctrico-Electronico	ILUMINACION	22	18	18	17	20	15	10	17	137
7	Eléctrico-Electronico	ELECTRICO	14	10	6	15	12	12	10	8	87
8	Eléctrico-Electronico	CONTROL	8	12	12	6	9	8	12	6	73
9	Motriz	TRANSMISION	7	12	5	10	6	2	4	2	48
10	Motriz	FRENOS	2	8	4	9	6	3	4	6	42
11	Motriz	NEUMATICOS	8	8	6	5	4	4	4	5	44
12	Motriz	DIRECCION	10	10	6	6	12	7	4	5	60
13	Hidráulico	BOMBA	2	2	3	5	6	4	4	7	33
14	Hidráulico	DISTRIBUCION	12	16	7	20	14	11	12	7	99
15	Hidráulico	ACTUADORES	2	14	6	8	12	6	3	8	59
16	Hidráulico	COMPONENTES	4	10	5	7	6	7	3	6	48
17	Estructural	PARACHOQUE	1	3	1	2	3	1	2	1	14
18	Estructural	BASTIDOR	2	2	2	2	2	1	1	1	13
19	Estructural	CARROCERIA	1	2	2	2	3	3	2	2	17
TOTAL			111	144	96	132	134	95	85	93	890

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 34 Desempeño del mantenimiento en Flota de Volquete 777G CAT -Periodo Inicial

	VOLQ.N°1	VOLQ.N°2	VOLQ.N°3	VOLQ.N°4	VOLQ.N°5	VOLQ.N°6	VOLQ.N°7	VOLQ.N°8	TOTAL	
HORAS MANTENIMIENTO CORRECTIVO	181.5	266	164	240	246.5	158	141	166.5	195.4	
COSTO TOTAL MANTENIMIENTO CORRECTIVO(US\$)	6253.30	8523.77	5505.10	7974.65	8125.82	5567.67	4920.97	5552.06	6552.92	
COSTO TOTAL MANTENIMIENTO PREVENTIVO(US\$)	5403.20	5403.20	5403.20	5403.20	5403.20	5403.20	5403.20	5403.20	5403.20	
COSTO DE IND. OPERATIVA POR MANTENIMIENTO(US\$)	10890.00	15960.00	9840.00	14400.00	14790.00	9480.00	8460.00	9990.00	11726.25	
COSTO DE MANTENIMIENTO TOTAL	22546.50	29886.97	20748.30	27777.85	28319.02	20450.87	18784.17	20945.26	23682.37	
INDICADORES DE OPERACIÓN										
HORAS TOTALES DE OPERACIÓN	1700	1700	1750	1720	1650	1680	1600	1650	1681.3	
KPI	TMEF(HORAS)	15.32	11.81	12.96	13.03	12.31	17.68	18.82	17.74	15.0
	TMPR(HORAS)	1.64	1.85	1.71	1.82	1.84	1.66	1.66	1.79	1.7
	TMPF(HORAS)	16.95	13.65	14.67	14.85	14.15	19.35	20.48	19.53	16.7
INDICADORES DE MANTENIMIENTO										
DISPONIBILIDAD	89.32%	84.35%	90.63%	86.05%	85.06%	90.60%	91.19%	89.91%	88.39%	
CONFIABILIDAD	90.35%	86.47%	88.35%	87.76%	87.00%	91.40%	91.90%	90.83%	89.26%	
MANTENIBILIDAD(Horas)	1.64	1.85	1.71	1.82	1.84	1.66	1.66	1.79	1.7	
FIABILIDAD(Horas)	15.32	11.81	12.96	13.03	12.31	17.68	18.82	17.74	15.0	
INDICADORES DE DESEMPEÑO										
INDICE DE INTERFERENCIA CORRECTIVA IMC	9.39%	13.18%	8.34%	11.93%	12.65%	8.36%	7.86%	8.91%	10.08%	
INDICE DE INTERFERENCIA PREVENTIVA IMP	2.69%	2.58%	2.64%	2.58%	2.67%	2.75%	2.90%	2.78%	2.70%	
INDICE DE CONFIABILIDAD OPERACIONAL ICO	87.92%	84.24%	89.01%	85.49%	84.68%	88.89%	89.24%	88.31%	87.22%	
INDICE DE COSTO DE MANTENIMIENTO ICM	22.10%	29.30%	19.76%	26.92%	28.61%	20.29%	19.57%	21.16%	23.46%	

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 35 Desempeño de Indicadores Energéticos en Flota de Volquete 777G CAT -Periodo Inicial

	VOLQ.N°1	VOLQ.N°2	VOLQ.N°3	VOLQ.N°4	VOLQ.N°5	VOLQ.N°6	VOLQ.N°7	VOLQ.N°8	TOTAL
COMBUSTIBLE DIESEL B5									
CONSUMO(Gal/periodo de analisis)	9045	9208	9128.00	9235	9004	8856	8756	8896	9016.0
INDICADOR HORARIO(Gal/h)	5.321	5.416	5.216	5.369	5.457	5.271	5.473	5.392	5.364
COSTO(US\$/periodo de analisis)	35275.50	35911.20	35599.20	36016.50	35115.60	34538.40	34148.40	34694.40	35162.40
INDICADOR(US\$/hora)	20.750	21.124	20.342	20.940	21.282	20.559	21.343	21.027	20.921
INDICADORES ENERGETICOS									
IE1 (Diesel B5)/hora	5.321	5.416	5.216	5.369	5.457	5.271	5.473	5.392	5.364
IE2 (Diesel B5)/(hora-TMPR)	3.25	2.93	3.05	2.95	2.97	3.17	3.30	3.01	3.08
IE3 (Diesel B5)/(hora-TMEF)	0.3474	0.4588	0.4025	0.4121	0.4432	0.2981	0.2907	0.3039	0.3696
IE4 (Galones de Diesel B5)/(hora-falla)	0.0479	0.0376	0.0543	0.0407	0.0407	0.0555	0.0644	0.0580	0.0499
IE5 (Diesel B5)/(hora-HMC)	0.0293	0.0204	0.0318	0.0224	0.0221	0.0334	0.0388	0.0324	0.0288

Fuente: Elaboración propia

4.3 APLICACIÓN DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO:

4.3.1 ORGANIZACIÓN DEL AREA DE MANTENIMIENTO:

A. ORGANIGRAMA DEL AREA:

Se plantea el siguiente organigrama de trabajo para el Área de Mantenimiento encargado de la Flota de Maquinaria Pesada compuesta por 08 Volquetes Camión 777G CAT y 08 Excavadoras 322D , dedicadas al excavado , remoción , carguío y transporte de material removido para la construcción de las instalaciones de la Empresa Minera SULLIDEN SHAHUINDO SAC.

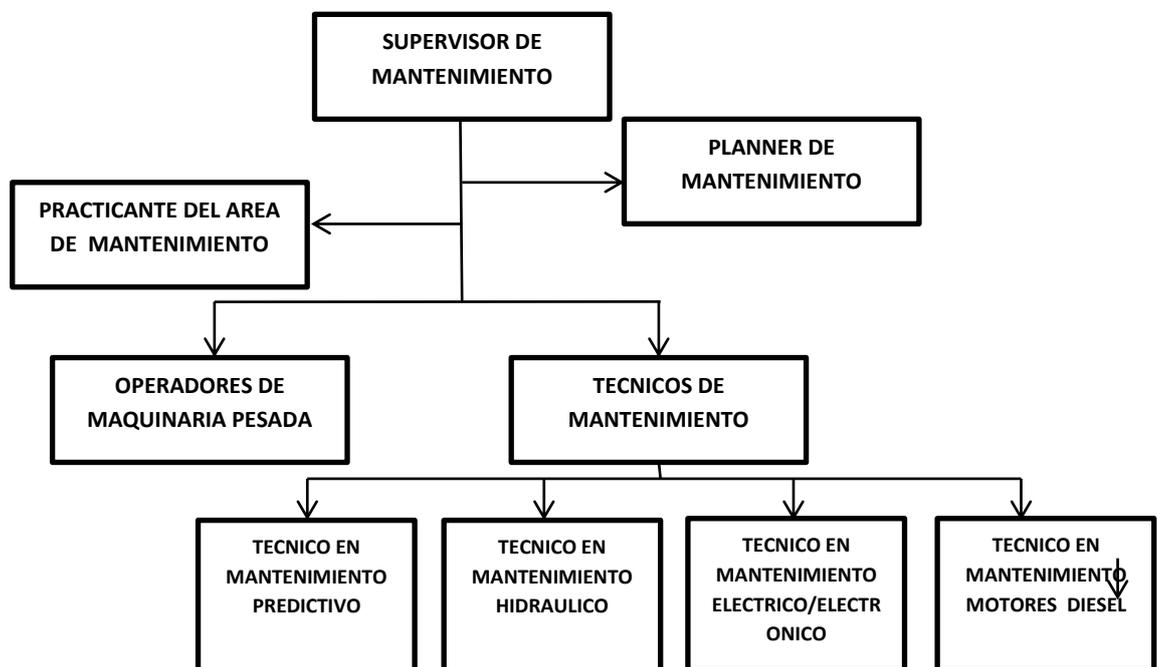


Figura N°27 Organigrama del Área de Mantenimiento

Fuente: Dpto. de Ingeniería y Obras SAC

B. ACTIVIDADES Y RESPONSABILIDADES DE INTEGRANTES:

Se tiene la siguiente asignación de actividades y funciones de los integrantes del área de mantenimiento, para lo cual se tomó como referencia por lo dispuesto por la legislación laboral minera vigente.

• **SUPERVISOR DE MANTENIMIENTO :**

ESCOLARIDAD	Ingeniero Mecánico o Mecánico Eléctrico o Energía con experiencia en mantenimiento
FUNCIONES	<p>Coordinar las tareas de mantenimiento y supervisar la asignación de tareas</p> <p>Planificar, Organizar, Dirigir y Controlar el Mantenimiento de todos los equipos de la empresa.</p> <p>Responsable de todas las actividades de mantenimiento por los técnicos mecánicos y electricistas.</p> <p>Coordinar y supervisar las reparaciones atendidas por terceros (sub-contratistas).</p> <p>. Elaborar los planes de mantenimiento preventivos de los equipos de la empresa.</p> <p>Coordinar y determinar con la Jefatura de Logística el stock mínimo necesario de repuestos e insumos que debe haber en almacén.</p> <p>Reportar estimados y proyecciones de insumos, tal como llantas, aceites, filtros</p> <p>Elaborar la relación de repuestos estratégicos que la empresa debe tener listos para ser utilizados para garantizar el rápido reemplazo de las partes averiadas.</p>
REPORTA	Reportar a la Gerencia de Operaciones sobre la gestión de mantenimiento, a través de los índices seleccionados, que permitan evaluar costos, operatividad, confiabilidad, disponibilidad de los equipos, índices de desempeño e indicadores energéticos y de las actividades realizadas

• **PLANNER DE MANTENIMIENTO:**

ESCOLARIDAD	Bachiller Ingeniero Mecánico o Mecánico Eléctrico o Energía con experiencia en mantenimiento
FUNCIONES	<p>Efectúa el seguimiento de los mantenimientos preventivos e informa al supervisor para la programación de ingreso de unidades al taller.</p> <p>Asiste al jefe de mantenimiento en la documentación y valorización de los costos de mantenimiento.</p> <p>Crea las OT según las asignaciones de tareas y/o servicios.</p> <p>Mantiene actualizada los programas y formatos de mantenimientos.</p> <p>Entrega al Supervisor de mantenimiento los documentos y formatos de mantenimiento para su revisión.</p> <p>Elabora el cuadro de stock de repuestos críticos.</p> <p>Realiza el control de consumo de combustible</p>
REPORTA	Supervisor de Mantenimiento

- **TECNICO EN MANTENIMIENTO MOTORES DIESEL:**

ESCOLARIDAD	Técnico en mantenimiento de motores diesel o maquinaria pesada
FUNCIONES	<p>Evaluación y diagnóstico de fallas, en coordinación con el Planner y Supervisor de Mantenimiento.</p> <p>Ejecutar las reparaciones mecánicas, mantenimientos preventivos y correctivos en motores diesel.(Sistema motriz y potencia)</p> <p>Elaborar reportes de las reparaciones realizadas.</p> <p>Estar en buenas condiciones físicas y mentales durante el trabajo.</p> <p>Es responsable de su presentación personal.</p>
REPORTA	Supervisor de Mantenimiento

- **TECNICO EN MANTENIMIENTO ELECTRICIDAD Y ELECTRONICA:**

ESCOLARIDAD	Técnico Electricista o Electrónico
FUNCIONES	<p>Evaluación y diagnóstico de fallas, en coordinación con el Planner y Supervisor de Mantenimiento.</p> <p>Ejecutar las reparaciones mecánicas, mantenimientos preventivos y correctivos en los sistemas eléctrico/control y eléctrico.</p> <p>Elaborar reportes de las reparaciones realizadas.</p> <p>Estar en buenas condiciones físicas y mentales durante el trabajo.</p> <p>Es responsable de su presentación personal.</p>
REPORTA	Supervisor de Mantenimiento

- **TECNICO EN MANTENIMIENTO HIDRAULICO:**

ESCOLARIDAD	Técnico en mantenimiento de maquinaria pesada o minería.
FUNCIONES	<p>Evaluación y diagnóstico de fallas, en coordinación con el Planner y Supervisor de Mantenimiento.</p> <p>Ejecutar las reparaciones mecánicas, mantenimientos preventivos y correctivos en los sistemas hidráulico y estructural.</p> <p>Elaborar reportes de las reparaciones realizadas.</p> <p>Estar en buenas condiciones físicas y mentales durante el trabajo.</p> <p>Es responsable de su presentación personal.</p>
REPORTA	Supervisor de Mantenimiento

- **TECNICO EN MANTENIMIENTO PREDICTIVO:**

ESCOLARIDAD	Técnico en Mantenimiento mecánico con conocimiento en actividades predictivas
FUNCIONES	Efectúa el seguimiento de los mantenimientos predictivos de las unidades conformantes de flota. En coordinación con el planner de mantenimiento realiza seguimiento de las tareas predictivas realizadas por empresas externas. Elaborar reportes de las tareas de mantenimiento predictivo realizadas : termografía , desgaste , dureza Reportar estado de componentes para aplicar mantenimiento. Estar en buenas condiciones físicas y mentales durante el trabajo. Es responsable de su presentación personal
REPORTA	Supervisor de Mantenimiento

- **OPERADORES DE MAQUINA :**

ESCOLARIDAD	Técnico en maquinaria pesada o con conocimiento en manejo de maquinaria pesada
FUNCIONES	Opera y responsable de la conservación de la maquina a su cargo. Reporta fallas al planner de mantenimiento. Asiste al Técnico de mantenimiento en las actividades preventivas y correctivas de la maquina a su cargo. Realiza tareas rutinarias de mantenimiento asignadas. Estar en buenas condiciones físicas y mentales durante el trabajo. Es responsable de su presentación personal
REPORTA	Supervisor de Mantenimiento

- **PRACTICANTE:**

ESCOLARIDAD	Egresado de Ingeniería Mecánica Eléctrica o Energía
FUNCIONES	Tareas asignadas o específicas durante su periodo de practica. Asistente del planner de mantenimiento
REPORTA	Supervisor de Mantenimiento

4.3.2 PLAN DE ACTIVIDADES RUTINARIAS:

El Plan de Actividades rutinarias está basado en el Mantenimiento Productivo total , en el cual se hace partícipe a todos los integrantes del Área de Mantenimiento en las tareas que

permitan mantener los equipos o maquinas con un alto grado de confiabilidad y disponibilidad.

Cuadro N° 36 actividades Rutinarias de Mantenimiento Sistema Eléctrico/motriz y Transmisión

SISTEMA : ELECTRICO		
ACTIVIDAD	FRECUENCIA(dias)	RESPONSABLE
Estado de encendido/apagado de motor	Diario	Operador
Revisión de luces de encendido	Diario	Operador
Limpieza de luces de encendido	Diario	Operador
Verificación de zócalos de luces	Diario	Operador
Verificar estado de sirena de retroceso	Diario	Operador
Revisar contactos de batería	Interdiario	Tec Electricista
Verificar estado de control de cabina	Interdiario	Tec Electricista
Verificar pulsado de arrancador	Diario	Operador
Ajuste de faros de luz de retroceso	Diario	Operador
Verificación de circuito de zócalos	Interdiario	Tec Electricista
Verificación del arnés de faros delanteros	Diario	Operador
SISTEMA : MOTOR		
ACTIVIDAD	FRECUENCIA(dias)	RESPONSABLE
Revisar nivel de aceite de motor	Diario	Operador
Control de horómetro de combustible	Diario	Operador
Instalar manómetro y verificar presión	Semanal	Tec Mant Motor
Verificación de fugas y hermeticidad de radiador	Diario	Operador
Verificar fugas de líquido refrigerante	Diario	Operador
Revisión de correas de motor	Interdiario	Tec Mant Motor
Verificar fugas de combustible	Diario	Operador
Verificar estado de filtros de aire	Interdiario	Tec Mant Motor
Inspección visual de rajaduras del tanque	Diario	Operador
SISTEMA : TRANSMISION		
ACTIVIDAD	FRECUENCIA(dias)	RESPONSABLE
Revisión de estado de pedal	Diario	Operador
Revisión rápida de la dirección	Diario	Operador
Verificación de control de cambios	Semanal	Tec Mant Motor
Revisión del estado del reten	Interdiario	Tec Mant Motor
Verificación de fugas de aceite	Diario	Operador

Fuente : Elaboración propia

Cuadro N° 37 actividades Rutinarias en Sistemas Freno/neumático/dirección , Hidráulica y Estructural

SISTEMA : FRENO NEUMATICO DIRECCION		
ACTIVIDAD	FRECUENCIA(dias)	RESPONSABLE
Revisión de fugas de aire	Diario	Operador
Verificar estado de frenos	Diario	Operador
Revisión de pulmón de freno	Semanal	Tec Mant Hid
Verificar estado de tambor de ruedas	Semanal	Tec Mant Hid
Revisión de estiramiento de fajas	Semanal	Tec Mant Hid
Revisión estado de neumático	Diario	Tec Mant Hid
Revisión de neumáticos	Interdiario	Tec Mant Hid
Inspección de fugas	Diario	Operador
SISTEMA : HIDRAULICO		
ACTIVIDAD	FRECUENCIA(dias)	RESPONSABLE
Inspección del estado del resorte	Interdiario	Tec Mant Hid
Estado de desgaste de las guías.	Semanal	Tec.Mecanico
Estado de desgaste de las guías.	Semanal	Tec.Mecanico
Estado de accionamiento de actuadores	Diario	Operador
Inspección del toma fuerza	Interdiario	Tec.Mecanico
Inspección de fugas de aceite	Diario	Operador
SISTEMA : ESTRUCTURAL		
ACTIVIDAD	FRECUENCIA(dias)	RESPONSABLE
Revisión de parachoques	Diario	Operador
Verificar barandas de tolva	Diario	Operador
Verificar fisuras en tolvas y chasis	Diario	Operador

Fuente : Elaboración propia

4.3.3 PROGRAMA DE ACTIVIDADES PREDICTIVAS.

Se establece así mismo el siguiente sistema de actividades predictivas relacionadas a :
Tribología: Análisis de Aceite de motor de combustión interna y aceite del sistema hidráulico. Esta actividad se realiza a través de los servicios externos de la Empresa SGS.

Se realiza con la finalidad de determinar las condiciones de operatividad del aceite de motor e hidráulico.

Se toma en cuenta los siguientes criterios :

Viscosidad

Tendencia de hollín

Tendencia de sulfatación, oxidación y nitración.

Tendencia de desgaste de hierro y cobre.

Cuadro N° 38 Plan de Actividades Predictivas de Tribología

EXCAVADORAS 322D												
N°	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12
1			■	■					■	■		
2			■	■					■	■		
3			■	■					■	■		
4			■	■					■	■		
5			■	■					■	■		
6			■	■					■	■		
7			■	■					■	■		
8			■	■					■	■		
CAMION VOLQUETE 777G CAT												
1		■	■					■	■			
2		■	■					■	■			
3		■	■					■	■			
4		■	■					■	■			
5		■	■					■	■			
6		■	■					■	■			
7		■	■					■	■			
8		■	■					■	■			
■ Relacionado al analisis de aceite de motor de combustion interna												
■ Relacionado al analisis del aceite hidraulico												

Fuente : Elaboración propia

Se presenta así mismo los resultados efectuados para el Motor de la Excavadora N° 3 422D, en el cual se realizó un control riguroso, en el cual se puede notar que la viscosidad se mantiene dentro de los rangos admisibles de 16 a 14.4 cts a 100 °C. Asi mismo el valor el valor de la tendencia de hollín varia entre 0.1 a 0.08 ABS/100 mm, el cual es un valor bajo con referente al limite permitido de 0.45 ABS/100 mm.

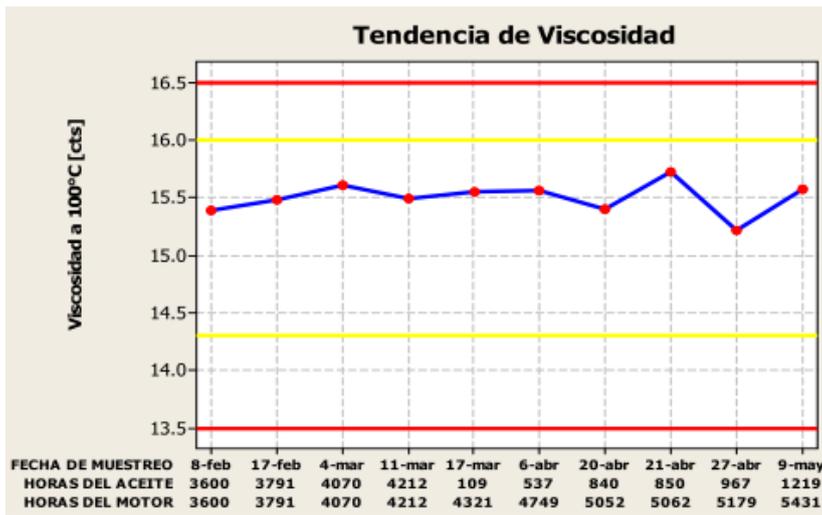


Figura N°28 Tendencia de la Viscosidad de Excavadora N° 3

Fuente: Dpto. de Ingeniería y Obras SAC (2015)

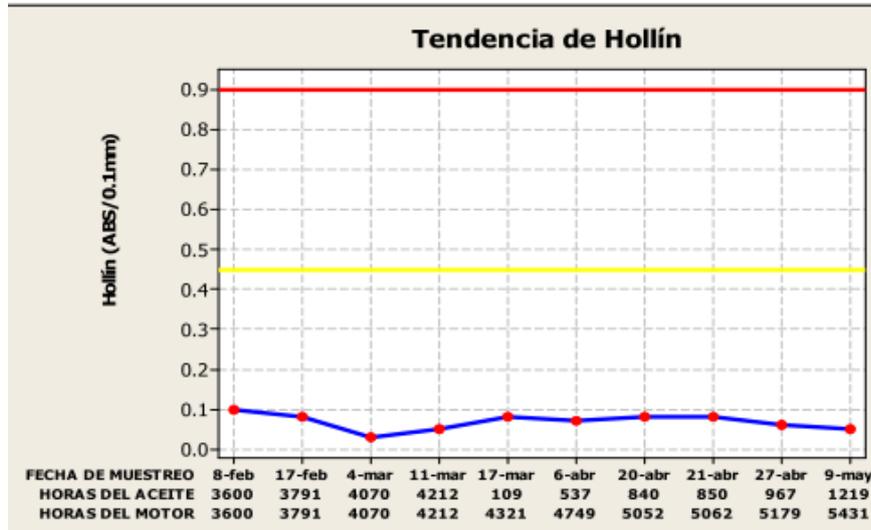


Figura N°29 Tendencia de Hollín en Aceite de MCI de Excavadora N° 3

Fuente: Dpto. de Ingeniería y Obras SAC (2015)

Termografía: Análisis de puntos calientes en la bancada y culata del motor de combustión interna, así como verificación de la temperatura del aceite del sistema hidráulico. Esta actividad se realiza a cargo del Técnico en Mantenimiento Predictivo mediante una cámara termografía TIR 110 y un Pirómetro digital FYRITE adquirida por la empresa.

Se toma como referencia el aceite hidráulico de retorno al cárter de aceite de 60 °C como máximo y un valor de 40°C como temperatura de retorno al circuito hidráulico como máximo.

Para la temperatura externa del motor de combustión interna se toma en cuenta un valor de 120 °C en la culata del motor como máximo para una adecuada combustión y un buen funcionamiento del sistema de enfriamiento.

Cuadro N° 39 Plan de Actividades Predictivas de Termografía y Control de Temperaturas

EXCAVADORAS 322D								
N°	Día1	Día2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
CAMION VOLQUETE 777G CAT								
N°	Día 9	Día 10	Día 11	Día 12	Día 13	Día 14	Día 15	Día 16
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
Referido a las actividades de medición de temperaturas de circuito hidráulico y mci								

Fuente : Elaboración propia

Se presenta así mismo el control de temperaturas que se realiza para cada uno de los motores de combustión interna de las Excavadoras y camiones volquete.

REPORTE DE CONTROL DE TEMPERATURAS						
Día :		23.01.2015				
Hora:		9.00 am				
Responsable:		Tecnico Eleuterio Mendoza Carpio				
Equipo		Motor TZ456 Excavadora 322D CAT				
N°		T1	T2	T3	T4	Promedio
1	Superior culata	115	118	115	120	117
2	Lateral derecha	114	110	110	109	111
3	Lateral Izquierda	114	108	109	110	110
4	Frontal	114	115	118	118	116
5	Posterior	115	116	118	117	117
6	Punto bajo carter	119	120	120	117	119
7	Contornos del motor	110	105	104	102	105
V°B° Supervisor de Mantenimiento						

Figura N°30 Reporte de Control de Temperaturas Excavadora N° 3

Fuente: Dpto. de Ingeniería y Obras SAC (2015)

Dureza: Análisis de dureza de puntas de pala mecánica de la excavadora y de plataforma de volquete, con la finalidad de determinar el valor de resistencia al impacto del material cuando desarrolla sus prestaciones de trabajo de excavación y carguío respectivamente para la excavadora y el camión volquete. Esta actividad esta a cargo el técnico en mantenimiento predictivo, el cual hace uso de un Durómetro Digital HARTIP 1500 para la verificación de la Dureza Brinell hasta un valor de 450HB (10 % menos del valor normal de 500 HB)

Cuadro N° 40 Plan de Actividades Predictivas de Dureza

EXCAVADORAS 322D								
N°	Día1	Día2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
CAMION VOLQUETE 777G CAT								
N°	Día 9	Día 10	Día 11	Día 12	Día 13	Día 14	Día 15	Día 16
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
	Referido a las actividades de ensayos de dureza en uñas de pala mecánica de excavadora y valores plataforma de tolva de camion							

Fuente : Elaboración propia

Desgaste : La prueba de inspección del desgaste se realiza con la finalidad de poder evaluar la reducción del material sometido a impacto por trabajo. Esta tarea la realiza el Técnico de Mantenimiento predictivo ,el cual hará uso de vernier y micrómetro digital para evaluar puntos de desgaste en la excavadora 322D y camión volquete 777D CAT. Para el desgaste se debe tener en cuenta el número de horas de operación y la siguiente ecuación:

$$\% \text{ DESGASTE} = \frac{(\text{MI}-\text{DM})-(\text{MP}-\text{DM})}{(\text{MI}-\text{DM})} \times 100\%$$

MI = MEDIDA INICIAL

DM = DESGASTE MAXIMO

MP = MEDIDA PROMEDIO

Se presenta el cronograma de actividades para realizar la evaluación de la Inspección al desgaste de la Excavadora N° 3, la cual se deben realizar en los siguientes periodos:

- 100 horas
- 500 horas
- 1000 horas
- 1500 horas
- 2000 horas
- 2500 horas
- 3000 horas

Cuadro N° 41 Plan de Actividades Predictivas de Dureza a las 500 Horas para la Excavadora N° 3

SISTEMAS A 500 HORAS	MEDIDA INICIAL (mm) (ORIGINAL)	DESGASTE MAXIMO (mm)	MEDIDA 1 (mm)	MEDIDA 2 (mm)	MEDIDA 3 (mm)	MEDIDA 4 (mm)	MEDIDA 5 (mm)	MEDIDA PROMEDIO
ESLABON DE CUCHARA	100.00	98.00	99.72	99.71	99.7	99.69	99.68	99.7
STICK	90.00	88.00	89.9	89.85	89.8	89.75	89.7	89.8
BOOM	110.00	108.00	109.9	109.85	109.8	109.75	109.7	109.8
CUCHILLAS DE CORTE	50.00	30.00	42	41	40	39	38	40
CANTONERAS	180.00	20.00	134	133	132	131	130	132
PUNTAS	250.00	150.00	152	151	150	149	148	150

Fuente: Elaboración propia

4.4 EVALUACION DEL ESTADO DE INDICADORES DE EXCAVADORAS 422D

PERIODO FINAL: La evaluación se realiza para la Excavadora 422D N° 3 , luego n los cuadros resúmenes se analiza el comportamiento de las 7 máquinas restantes.

4.4.1 OCURRENCIA DE FALLAS:

Se presenta la lista de fallas que se suscitan para un periodo de 6 meses (Enero-Junio 2015) para la excavadora N° 3 la cual se encuentra con un grado de criticidad importante.

Cuadro N° 42 Ocurrencia de fallas Excavadora N° 3-Periodo final

N°	SISTEMA	SUBSISTEMA	OCURRENCIAS	HORAS DE PARADA	TOTAL HORAS
1	Potencia	MOTOR PRINCIPAL	1	5	5
2	Potencia	ADMISION Y ESCAPE	1	2	2
3	Potencia	ENFRIAMIENTO	1	2.5	2.5
4	Potencia	INYECCION	1	5	5
5	Potencia	LUBRICACION	1	2	2
8	Eléctrico-Electronico	ILUMINACION	3	0.5	1.5
9	Eléctrico-Electronico	ELECTRICO	4	1.5	6
10	Eléctrico-Electronico	CONTROL	5	0.5	2.5
19	Motriz	TRANSMISION	3	3	9
20	Motriz	FRENOS	1	2.5	2.5
21	Motriz	NEUMATICOS	4	2	8
22	Motriz	DIRECCION	2	2.5	5
32	Hidráulico	BOMBA	1	4	4
33	Hidráulico	DISTRIBUCION	2	1	2
34	Hidráulico	ACTUADORES	4	1.5	6
35	Hidráulico	COMPONENTES	2	1	2
42	Estructural	PARACHOQUE	1	1	1
43	Estructural	BASTIDOR	1	1.5	1.5
44	Estructural	CARROCERIA	0	1.5	0
TOTAL			38	40.5	67.5

Fuente : Elaboración propia

4.4.2 DETERMINACION DE LOS COSTOS POR MANTENIMIENTO CORRECTIVO:

a. DETERMINACION DEL COSTO UNITARIO:

El jornal es el mismo considerado en el ítem 4.1.2:

$$\text{Jornal Horario} = 5.30 \text{ U\$/hora}$$

b. COSTO DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO:

Se presenta el cuadro resumen de costos por mantenimiento correctivo –periodo final:

Cuadro N° 42-B Costo de Mantenimiento correctivo en Excavadora N° 3-Periodo Final

CODIGOS DE FALLAS	SISTEMAS	SUB - SISTEMAS	DESCRIPCION DE FALLAS	HORAS DE PARADA	CANT. DE PERSONAL	HORAS HOMBRES (HH)	COSTO DE REPUESTOS (CR)	COSTO DE MANO OBRA (MO)	COSTO TOTAL (CT)	OCURRENCIAS	HORAS PERDIDAS (HP)	COSTO MP(US\$)
1	Potencia	Motor	Válvulas de la bomba de transferencia de c	5	2	10	30	53.0	83.0	1	5	83.0
2	Potencia	Motor	Rotura de la faja del motor	5	2	10	40	53.0	93.0	0	0	0.0
3	Potencia	Admision y escape	Pase de aceite de motor por el Turbo alimen	2	2	4	25	21.2	46.2	1	2	46.2
4	Potencia	Enfriamiento	Radiador de aire (Intercooler) con aceite	2.5	2	5	25	26.5	51.5	0	0	0.0
5	Potencia	Enfriamiento	Fuga de liquido refrigerante por el desfogue	2.5	2	5	20	26.5	46.5	1	2.5	46.5
6	Potencia	Inyeccion	Caida de presion en inyectores	5	2	10	120	53.0	173.0	1	5	173.0
7	Potencia	Lubricacion	Mal funcionamiento de bomba de aceite de l	2	2	4	80	21.2	101.2	1	2	101.2
										5	16.5	450.00
8	Eléctrico	Iluminacion	Faros de luz baja no enciende	0.5	1	0.5	10	2.7	12.7	1	0.5	12.7
9	Eléctrico	Iluminacion	Faros de luz alta no enciende	0.5	1	0.5	10	2.7	12.7	1	0.5	12.7
10	Eléctrico	Iluminacion	Faro de luz de retroceso no enciende	0.5	1	0.5	10	2.7	12.7	1	0.5	12.7
11	Eléctrico	Iluminacion	Soquete de faros delanteros se encuentran	0.5	1	0.5	10	2.7	12.7	0	0	0.0
12	Eléctrico	Iluminacion	Conectores del arnés de faros delanteros s	0.5	1	0.5	12	2.7	14.7	0	0	0.0
13	Eléctrico	Iluminacion	Luces laterales de la tolva, no encienden	0.5	1	0.5	15	2.7	17.7	0	0	0.0
14	Eléctrico	Electrico	El arrancador no responde, eficiencia de ar	1.5	2	3	40	15.9	55.9	1	1.5	55.9
15	Eléctrico	Eléctrico	Alternador no genera carga	1.5	2	3	50	15.9	65.9	2	3	131.8
16	Eléctrico	Eléctrico	La batería no retiene carga	1.5	2	3	40	15.9	55.9	1	1.5	55.9
17	Eléctrico	Control	Alarma no funciona	0.5	1	0.5	15	2.7	17.7	2	1	35.3
18	Eléctrico	Control	Solenoides de apagado de motor no acciona	0.5	1	0.5	20	2.7	22.7	3	1.5	68.0
										12	10.0	384.85

Fuente : Elaboración propia

Cuadro N° 42-C Costo de Mantenimiento correctivo en Excavadora N° 3-Periodo final

CODIGOS DE FALLAS	SISTEMAS	SUB - SISTEMAS	DESCRIPCION DE FALLAS	HORAS DE PARADA	CANT. DE PERSONAL	HORAS HOMBRES (HH)	COSTO DE REPUESTOS (CR)	COSTO DE MANO OBRA (MO)	COSTO TOTAL (CT)	OCURENCIAS	HORAS PERDIDAS (HP)	COSTO MP(US)
19	Motriz	Transmision	Pedal de embrague se encuentra muy arriba	3	2	6	70	31.8	101.8	1	3	101.8
20	Motriz	Transmision	Reten de rueda delantera de grasa en mal e	3	2	6	40	31.8	71.8	1	3	71.8
21	Motriz	Transmision	Fuga de aceite por el reten de rueda poster	3	2	6	30	31.8	61.8	1	3	61.8
22	Motriz	Frenos	Fugas de aire por las cañerías de freno	2.5	2	5	30	26.5	56.5	1	2.5	56.5
23	Motriz	Frenos	Fuga de aire por la válvula dosificadora	2.5	2	5	30	26.5	56.5	0	0	0.0
24	Motriz	Frenos	Regulación de los frenos de las ruedas	2.5	2	5	40	26.5	66.5	0	0	0.0
25	Motriz	Frenos	Pulmón de freno (maxibrake) no responde d	2.5	2	5	35	26.5	61.5	0	0	0.0
26	Motriz	Frenos	Desgaste interior de los tambores de las rue	2.5	3	7.5	45	39.8	84.8	0	0	0.0
27	Motriz	Frenos	Fajas de las zapatas de freno se encuentra	2.5	2	5	50	26.5	76.5	0	0	0.0
28	Motriz	Neumáticos	Neumático se baja	2	3	6	40	31.8	71.8	2	4	143.6
29	Motriz	Neumáticos	Neumáticos con desgaste de cocada	2	2	4	200	21.2	221.2	2	4	442.4
30	Motriz	Dirección	Fuga de aceite por la bomba hidráulica de d	2.5	2	5	50	26.5	76.5	1	2.5	76.5
31	Motriz	Dirección	Terminales de la barra larga de dirección se	2.5	2	5	60	26.5	86.5	1	2.5	86.5
										10	24.5	1041.06
32	Hidráulico	Bomba	Ruido en el interior de la Toma de fuerza (TF	4	3	12	60	63.6	123.6	1	4	123.6
33	Hidráulico	Bomba	Fuga de aceite por el sw itch de la Toma de	4	2	8	40	42.4	82.4	0	0	0.0
34	Hidráulico	Distribucion	Fuga de aceite por la manguera del filtro de	1	2	2	30	10.6	40.6	1	1	40.6
35	Hidráulico	Distribucion	Fuga de aceite por el niple de las manguera	1	2	2	30	10.6	40.6	1	1	40.6
36	Hidráulico	Distribucion	Fuga de aceite por la electroválvula del ban	1	2	2	30	10.6	40.6	0	0	0.0
37	Hidráulico	Actuadores	Desgaste de las guías tipo patin de riel de c	1.5	2	3	30	15.9	45.9	2	3	91.8
38	Hidráulico	Actuadores	Fuga de aceite por el reten del cilindro de pr	1.5	2	3	40	15.9	55.9	1	1.5	55.9
39	Hidráulico	Actuadores	Fuga de aceite por el reten del cilindro de es	1.5	2	3	45	15.9	60.9	1	1.5	60.9
40	Hidráulico	Componentes	El resorte para seguros de gancho de grúa	1	2	2	40	10.6	50.6	1	1	50.6
41	Hidráulico	Componentes	Desgaste de las guías de extensión de las g	1	2	2	50	10.6	60.6	1	1	60.6
										9	14	524.70
42	Estructural	Estructural	Parachoques posterior se encuentra doblad	1	2	2	50	10.6	60.6	1	1	60.6
43	Estructural	Estructural	Barandas de la tolva se encuentran en mal	1.5	2	3	45	15.9	60.9	1	1.5	60.9
44	Estructural	Estructural	Fisuras de los travesaños entre la tolva y e	1.5	2	3	50	15.9	65.9	0	0	0.0
										2	2.5	121.52
TOTAL										38	67.5	2522.12

Fuente : Elaboración propia

4.4.3 DETERMINACION DE COSTOS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO:

- Para el Mantenimiento preventivo en función de la condición , la secuencia de trabajo se ha organizado en funciones a las tareas de mantenimiento correctivo , con las siguientes características rutinarias:

MP1 = Mantenimiento mensual (30 días)

MP2 = Mantenimiento 1 mes y medio (Entre los 42 y 45 días)

MP3 = Mantenimiento trimestral (90 días)

MP4 = Mantenimiento semestral (180 días)

- Se tienen las ordenes de servicio de mantenimiento preventivo con lo referente a los filtros del Motor CAT C6.6, filtros del sistema hidráulico de la pala articulada , aceites y grasas para los distintos puntos de engrase, e inspección de los sistemas eléctricos/control y mando.

Cuadro N° 43 Mantenimiento Preventivo-Filtros de Motor en Excavadora N° 3-Periodo final

FILTROS MOTOR CAT C6.6-SISTEMA DE POTENCIA					ORDEN DE SERVICIO
DESCRIPCION	CODIGO	CANT. (UN)	COSTO (US\$)		
			UNITARIO	TOTAL	
COMBUSTIBLE PRIMARIO	CAT 326-1043	1	25.00	25.00	MP4
COMBUSTIBLE SECUNDARIO	CAT 1R-0752	1	15.00	15.00	MP3
ACEITE MOTOR	LF3000	1	65.00	65.00	MP4
AGUA	WF2073	1	30.00	30.00	MP4
AIRE PRIMARIO	S3214	1	75.00	75.00	MP4
AIRE SECUNDARIO	D 182049	1	35.00	35.00	MP4
ACEITE CAJA DIRECCION	HIC 5001	1	20.00	20.00	MP4

Fuente : Elaboración propia

Cuadro N° 44 Mantenimiento Preventivo-Filtros de Pala articulada en Excavadora N° 3-Periodo final

FILTROS PALA ARTICULADA -SISTEMA HIDRAULICO					ORDEN DE SERVICIO
DESCRIPCION	CODIGO	CANT. (UN)	COSTO (US\$)		
			UNITARIO	TOTAL	
HIDRAULICO (Circuito Alta Presion)	EA 1392	1	75.0	75.00	MP4
HIDRAULICO (Circuito de Retorno)	EA 1761	1	70.0	70.00	MP4
HIDRAULICO (Circuito de alivio)	EA 1814	1	20.0	20.00	MP4

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 45 Mantenimiento Preventivo-Aceites Excavadora 322D N° 3-Periodo final

ACETES					ORDEN DE SERVICIO
DESCRIPCION	CODIGO	CANT. (GAL)	COSTO (US\$)		
			UNITARIO	TOTAL	
MOTOR	CAT DEO 15W-40	6.5	35.00	227.50	MP3
DIRECCION	ATF SPECIAL	1	35.00	35.00	MP3
SISTEMA HIDRAULICO	HYDO ADVANCE 10W	30	25.00	750.00	MP3
CAJA DE TRANSMISION	MOBIL 600XP	4	30.00	120.00	MP3
CORONAS / DIFERENCIAL	CAT GO 80W-90	4.8	25.00	120.00	MP3
CUBOS	SAE 85W40	4	20.00	80.00	MP3
LIQUIDO REFRIGERANTE	CAT ELC	5.5	22.00	121.00	MP3

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 46 Mantenimiento Preventivo-Grasas Excavadora 322D N° 3-Periodo final

GRASAS					ORDEN DE SERVICIO
DESCRIPCION	CODIGO	CANT. (KG)	COSTO (US\$)		
			UNITARIO	TOTAL	
PUNTOS DE LUBRICACION	MULTIPROPOSITO NLG2	1.5	30.00	45.00	MP1
GUIAS DE LAS EXTENSIONES	MULTIPROPOSITO NLG3	2	30.00	60.00	MP2

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 47 Inspección de Sistema Eléctrico/Electrónico y Mando Excavadora 322D N° 3-Periodo final

SISTEMA ELECTRICO/ELECTRONICO/CONTROL					ORDEN DE SERVICIO
DESCRIPCION	CODIGO	CANT. (unid)	COSTO (US\$)		
			UNITARIO	TOTAL	
LIMPIEZA DE CONTACTO	CAT DEO 15W-40	1	3.00	3.00	MP1
TAREAS DE AJUSTE	ATF SPECIAL	1	3.00	3.00	MP1
REVISION DE CIRCUITOS DE MANDO	HYDO ADVANCE 10W	1	3.00	3.00	MP1
REVISION BATERIA	MOBIL 600XP	1	3.00	3.00	MP1
MEDICION DE CONTACTOS DE ARRQ	CAT GO 80W-90	1	3.00	3.00	MP1

Fuente: Elaboración propia

- Se determinan seguidamente los costos de mantenimiento preventivo para cada una de las ordenes de servicio para cada mantenimiento preventivo

Para la ORDEN DE SERVICIO MP1 se tiene el siguiente costo :

$$\text{Costo MP1} = \text{U\$ } 60.00$$

Para la ORDEN DE SERVICIO MP2 se tiene el siguiente costo :

$$\text{Costo MP2} = \text{U\$ } 60.00$$

Para la ORDEN DE SERVICIO MP3 se tiene el siguiente costo:

$$\text{Costo MP3} = \text{U\$ } 1,468.50$$

Para la ORDEN DE SERVICIO MP4 se tiene el siguiente costo:

$$\text{Costo MP4} = \text{U\$ } 415.00$$

- Se tienen los cálculos para los costos de mantenimiento preventivo para cada uno de los periodos de trabajo establecidos para la máquina.

Para el periodo MENSUAL se tiene el siguiente costo :

$$\text{Costo MP mensual} = \text{Costo MP1} = \text{U\$ } 60.00$$

Para el periodo MES Y MEDIO se tiene el siguiente costo :

$$\text{Costo MP Mes y medio} = \text{Costo MP2} = \text{U\$ } 60.00$$

Para el periodo TRIMESTRAL se tiene el siguiente costo:

$$\begin{aligned}\text{Costo MP Trimestral} &= \text{Costo MP3} + \text{Costo MP2} + \text{Costo MP1} \\ \text{Costo MP Trimestral} &= 1,468.50 + 60.00 + 60.00 = 1,588.50 \text{ U\$}\end{aligned}$$

Para el periodo SEMESTRAL se tiene el siguiente costo:

$$\begin{aligned}\text{Costo MP Semestral} &= \text{Costo MP4} + \text{Costo MP3} + \text{Costo MP2} + \text{Costo MP1} \\ \text{Costo MP4} &= 415.00 + 1,588.50 = 2,003.50 \text{ U\$}\end{aligned}$$

Cuadro N° 48 Costo de Mantenimiento Preventivo por periodos Excavadora 322D N° 3-Periodo final

PERIODO	CODIGO	Orden de servicio	COSTO Mpi(U\$)
Mensual	MP1	Servicio realizado a las 300 horas	60.00
Mes y medio	MP2	Servicio realizado a las 450 horas	60.00
Mensual	MP1	Servicio realizado a las 600 horas	60.00
Trimestral	MP3	Servicio realizado a las 900 horas	1588.50
Mensual	MP1	Servicio realizado a las 1,200 horas	60.00
Mes y medio	MP2	Servicio realizado a las 1,350 horas	60.00
Mensual	MP1	Servicio realizado a las 1,500 horas	60.00
Semestral	MP4	Servicio realizado a las 1,800 horas	2003.50

Fuente: Elaboración propia

Se tienen un costo de mantenimiento preventivo para el periodo de evaluación de 6 meses igual a:

$$CMP = 3,953.00 \text{ U\$}$$

Se detallan así mismo las horas dedicadas al mantenimiento preventivo:

$$HMP1 = 4 \text{ horas} * 1 \text{ operador} = 4 * 5.30 = 21.20 \text{ U\$}$$

$$HMP2 = 2 \text{ horas} * 1 \text{ operador} = 2 * 5.30 = 10.60 \text{ U\$}$$

$$HMP3 = 8 \text{ horas} * 2 \text{ operadores} = 8 * 2 * 5.30 = 84.80 \text{ U\$}$$

$$HMP4 = 10 \text{ horas} * 2 \text{ operadores} = 10 * 2 * 5.30 = 106.00 \text{ U\$}$$

Se determinan los Costos por mano de obra en MP, según el siguiente cuadro:

Cuadro N° 49 Costo de Mantenimiento Preventivo Mano de Obra Excavadora 322D N° 3-final

PERIODO	CODIGO	Orden de servicio	COSTO MOMP(U\$)	HORAS
Mensual	MP1	Servicio realizado a las 300 horas	21.20	4
Mes y medio	MP2	Servicio realizado a las 450 horas	10.60	2
Mensual	MP1	Servicio realizado a las 600 horas	21.20	4
Trimestral	MP3	Servicio realizado a las 900 horas	84.80	16
Mensual	MP1	Servicio realizado a las 1,200 horas	21.20	4
Mes y medio	MP2	Servicio realizado a las 1,350 horas	10.60	2
Mensual	MP1	Servicio realizado a las 1,500 horas	21.20	4
Semestral	MP4	Servicio realizado a las 1,800 horas	106.00	20
TOTAL			296.80	56

Fuente: Elaboración propia

Se tienen un costo de mantenimiento preventivo en mano de obra para el periodo de evaluación de 6 meses igual a:

$$CMOMP = 296.80 \text{ U\$}$$

Los costos totales de mantenimiento preventivo se obtienen sumando el CMP y CMOMP:

$$CTMP = 3,953.00 + 296.80 = 4,248.50 \text{ U\$}$$

4.4.4 DETERMINACION DE LOS COSTOS DE INDISPONIBILIDAD OPERATIVA POR MANTENIMIENTO:

El Costo de indisponibilidad operativa por mantenimiento (CIOM)Este indicador nos evalúa el costo asociado a las horas que se dedican a mantenimiento correctivo bajo el criterio de que las maquinas han sido alquiladas.

Horas perdidas por mantenimiento correctivo HPMC = 67.5 horas

Costo alquiler maquina hora = 60 U\$

$$CIOM = (HPMC) * \text{costo alquiler maquina hora}$$

$$CIOM = 67.50 * 60 = 4,050.00 \text{ U\$}$$

4.4.5 DETERMINACION DE LOS COSTOS DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO:

En función a las actividades de mantenimiento predictivo , se tiene que tan solo que alquilar los servicios para analizar la calidad del aceite trimestralmente.

Cuadro N° 50 Costo de Mantenimiento Predictivo Excavadora 322D N° 3-final

N°	TIPO	FRECUENCIA	COSTO UNIARIO(U\$)	COSTO TOTAL(U\$)
1	Termografia	Mensual	Propio	
2	Tribologia	Trimestral	200.00	400.00
3	Desgaste pala	Mensual	Propio	
4	Dureza pala	Mensual	Propio	

Fuente: Elaboración propia

4.4.6 DETERMINACION DE LOS COSTOS DE MANTENIMIENTO TOTALES:

Se tienen los siguientes datos para poder determinar los costos de mantenimiento totales:

Costo total de mantenimiento correctivo = CTMC = U\$ 2,522.12

Costo total de mantenimiento preventivo = CTMP = U\$ 4,248.50

Costo de indisponibilidad operativa por mantenimiento = CIOM = U\$ 4,050.00

Costo de Mantenimiento predictivo =CMPD = U\$ 400.00

$$CMT = 7,840.89 + 4,459.40 + 14,160.00 + 400 = 11,220.62 \text{ U\$}$$

4.4.7 EVALUACION DE INDICADORES DE MANTENIMIENTO:

a. DETERMINACION DE LOS KPI DE MANTENIMIENTO:

TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS (TMEF): Se evalúa según la ecuación N° 1:

Para un total de 1,700 horas de operación:

$$TMEF = MTBF = \frac{1,700}{38} = 44.74 \text{ horas}$$

Dónde:

HTO = Son la suma total de horas de operaciones efectuadas en un periodo de tiempo de análisis= 1,700 horas

NF= Numero de fallas ocurridas en un periodo de tiempo analizado= 38 fallas

TIEMPO MEDIO PARA LA REPARACIÓN (TMPR): Este valor se evalúa según la ecuación N° 2:

$$TMPR = MTTR = \frac{67.5}{38} = 1.78 \text{ horas}$$

Dónde:

HTP = Horas totales de parada o fuera de servicio=67.5 horas

TIEMPO MEDIO PARA FALLAS (TMPF) :

Este indicador se evalúa según la ecuación N° 3:

$$TMPF = MTTF = TMEF + TMPR = 44.74 + 1.78 = 46.51 \text{ horas}$$

b. INDICADORES DE MANTENIMIENTO:

DISPONIBILIDAD:

La disponibilidad de un equipo se evalúa según la ecuación N° 4:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{1,700 - 67.5}{1,800} * 100\% = 96.03 \%$$

CONFIABILIDAD: Se evalúa según la ecuación N° 5:

$$\text{Confiabilidad} = \frac{TMEF}{TMEF + TMPR} = \frac{44.74}{46.51} = 96.18 \%$$

MANTENIBILIDAD: La mantenibilidad es igual a:

$$\text{Mantenibilidad} = 1.78 \text{ horas}$$

FIABILIDAD: Es igual a :

$$\text{Fiabilidad} = TMEF = 44.74 \text{ horas}$$

c. INDICES DE DESEMPEÑO:

INDICE DE INTERFERENCIA CORRECTIVA IMC: Este indicador evalúa el porcentaje de horas destinadas a mantenimiento correctivo en relación al número total de horas, según la ecuación N° 24

$$IMC = \frac{HMCT}{HMCT + HOT + HMPT} = \frac{67.5}{67.5 + 1700 + 56} * 100\% = 3.70 \%$$

Dónde:

$HMCT$ = Horas Totales de Mantenimiento correctivo = 67.5 horas

HOT = Horas totales de operación = 1,700 horas

$HMPT$ = Horas totales de Mantenimiento correctivo = 56 horas

INDICE DE INTERFERENCIA PREVENTIVA IMP: Este indicador evalúa el porcentaje de horas destinadas a mantenimiento preventivo en relación al número total de horas, según la ecuación N° 25:

$$IMP = \frac{HMPT}{HMCT + HOT + HMPT} = \frac{56}{67.5 + 1700 + 56} * 100\% = 3.07\%$$

INDICE DE CONFIABILIDAD OPERACIONAL ICO: Este indicador evalúa el porcentaje de horas destinadas al alquiler de las maquinas en relación al número total de horas , según la ecuación N° 26:

$$ICO = \frac{1700}{67.5 + 1700 + 56} * 100\% = 93.23 \%$$

INDICE DE COSTO DE MANTENIMIENTO ICM: Relaciona el costo de mantenimiento entre el costo de alquiler , según la ecuación 27:

$$ICM = \frac{CMT}{HOT * Costo Alquiler} * 100 \% = \frac{11,220.92}{(1700 * 60)} = 11.00 \%$$

4.4.8 EVALUACION DE INDICADORES ENERGETICOS:

a. CONSUMO DE ENERGIA:

Se tiene así mismo el consumo y costo de energía en los meses de evaluación del Petróleo Diesel B5:

Cuadro N° 51 Consumo y costo de Diesel B5 Excavadora 322D N° 3-Final

N°	MES	HORAS	CONSUMO(Gal/mes)	INDICADOR HORARIO (Gal/h)	COSTO(U\$/mes)	INDICADOR(U\$/h)
1	Enero	290	1748	6.028	6817.20	23.508
2	Febrero	300	1790	5.967	6981.00	23.270
3	Marzo	290	1756	6.055	6848.40	23.615
4	Abril	260	1642	6.315	6403.80	24.630
5	Mayo	260	1602	6.162	6247.80	24.030
6	Junio	300	1784	5.947	6957.60	23.192
TOTAL		1700	10322	6.072	40255.80	23.680

Fuente: Elaboración propia

b. INDICADORES ENERGETICOS:

Se tienen los siguientes indicadores energéticos:

INDICADOR ENERGETICO N°1

$$IE1 = \frac{\text{Galones de Diesel B5 6 meses}}{\text{Horas totales operativas 6 meses}} = \frac{10,322}{1,700} = 6.072 \frac{\text{Diesel B5}}{\text{hora}}$$

INDICADOR ENERGETICO N° 2 :

$$IE2 = \frac{\text{Galones de Diesel B5 /h}}{\text{Mantenibilidad (horas)}} = \frac{6.072 \frac{\text{Diesel B5}}{\text{hora}}}{1.78 \text{ horas}} =$$

$$IE2 = 3.418 \frac{\text{Diesel B5}}{\text{hora} - \text{TMPR}}$$

INDICADOR ENERGETICO N° 3

$$IE3 = \frac{\text{Galones de Diesel B5 /h}}{\text{Fiabilidad (horas)}} = \frac{6.072 \frac{\text{Diesel B5}}{\text{hora}}}{44.74 \text{ horas}}$$

$$IE3 = 0.1357 \frac{\text{Diesel B5}}{\text{hora} - \text{TMEF}}$$

INDICADOR ENERGETICO N° 4 :

$$IE4 = \frac{\text{Galones de Diesel B5/hora}}{\text{Numero de fallas}} = \frac{6.072}{38} = 0.1598 \frac{\text{Galones de Diesel B5}}{\text{hora - falla}}$$

INDICADOR ENERGETICO N° 5 :

$$IE5 = \frac{\text{Galones de Diesel B5/hora}}{\text{Horas Mantenimiento Correctivo}} = \frac{6.804}{67.5}$$

$$IE3 = 0.900 \frac{\text{Diesel B5}}{\text{hora - HMC}}$$

4.4.9 RESUMEN FLOTA DE EXCAVADORAS 322D:

Se presenta el resumen de información de la flota de 08 Excavadoras 322D tomadas como muestra de estudio.

Cuadro N° 52 Ocurrencia de fallas en Flota de Excavadoras 332D-Periodo final

N°	SISTEMA	SUBSISTEMA	EXCAV.N°1	EXCAV.N°2	EXCAV.N°3	EXCAV.N°4	EXCAV.N°5	EXCAV.N°6	EXCAV.N°7	EXCAV.N°8	TOTAL
1	Potencia	MOTOR PRINCIPAL	1	0	1	1	0	0	2	1	6
2	Potencia	ADMISION Y ESCAPE	1	0	1	0	0	1	0	0	3
3	Potencia	ENFRIAMIENTO	1	1	1	1	1	1	0	1	7
4	Potencia	INYECCION	1	1	1	1	1	1	1	1	8
5	Potencia	LUBRICACION	2	0	1	0	1	0	0	0	4
6	Eléctrico-Electronico	ILUMINACION	2	5	3	2	2	2	1	3	20
7	Eléctrico-Electronico	ELECTRICO	2	2	4	1	2	1	1	0	13
8	Eléctrico-Electronico	CONTROL	2	2	5	2	2	2	2	1	18
9	Motriz	TRANSMISION	4	2	3	4	3	1	2	1	20
10	Motriz	FRENOS	2	1	1	2	0	1	0	1	8
11	Motriz	NEUMATICOS	2	1	4	2	1	1	0	0	11
12	Motriz	DIRECCION	1	2	2	3	1	0	1	1	11
13	Hidráulico	BOMBA	1	0	1	1	1	0	1	1	6
14	Hidráulico	DISTRIBUCION	2	3	2	3	1	3	2	2	18
15	Hidráulico	ACTUADORES	2	1	4	1	2	0	3	0	13
16	Hidráulico	COMPONENTES	1	1	2	2	0	0	0	1	7
17	Estructural	PARACHOQUE	1	1	1	1	0	1	1	1	7
18	Estructural	BASTIDOR	0	1	1	1	1	1	1	0	6
19	Estructural	CARROCERIA	1	1	0	1	1	1	1	1	7
TOTAL			29	25	38	29	20	17	19	16	193

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 53 Desempeño del mantenimiento en Flota de Excavadoras 322D-Periodo final

	EXCAV.N°1	EXCAV.N°2	EXCAV.N°3	EXCAV.N°4	EXCAV.N°5	EXCAV.N°6	EXCAV.N°7	EXCAV.N°8	TOTAL	
HORAS MANTENIMIENTO CORRECTIVO	59.5	39	67.5	59	40.5	27.5	41	31.5	45.7	
COSTO TOTAL MANTENIMIENTO CORRECTIVO(US\$)	2019.28	1460.10	2522.12	1982.75	1284.55	931.17	1298.11	999.70	1562.22	
COSTO TOTAL MANTENIMIENTO PREVENTIVO(US\$)	4248.50	4248.50	4248.50	4248.50	4248.50	4248.50	4248.50	4248.50	4248.50	
COSTO DE IND. OPERATIVA POR MANTENIMIENTO(US\$)	3570.00	2340.00	4050.00	3540.00	2430.00	1650.00	2460.00	1890.00	2741.25	
COSTO POR MANTENIMIENTO PREDICTIVO(US\$)	400.00	400.00	400.00	400.00	400.00	400.00	400.00	400.00	400.00	
COSTO DE MANTENIMIENTO TOTAL	10237.78	8448.60	11220.62	10171.25	8363.05	7229.67	8406.61	7538.20	8951.97	
INDICADORES DE MANTENIMIENTO										
HORAS TOTALES DE OPERACIÓN	1700	1720	1700	1780	1680	1700	1720	1760	1720.0	
KPI	TMEF(HORAS)	58.62	68.80	44.74	61.38	84.00	100.00	90.53	110.00	77.3
	TMPR(HORAS)	2.05	1.56	1.78	2.03	2.03	1.62	2.16	1.97	1.9
	TMPF(HORAS)	60.67	70.36	46.51	63.41	86.03	101.62	92.68	111.97	79.2
INDICADORES DE MANTENIMIENTO										
DISPONIBILIDAD	96.50%	97.73%	96.03%	96.69%	97.59%	98.38%	97.62%	98.21%	97.34%	
CONFIABILIDAD	96.62%	97.78%	96.18%	96.79%	97.65%	98.41%	97.67%	98.24%	97.42%	
MANTENIBILIDAD(Horas)	2.05	1.56	1.78	2.03	2.03	1.62	2.16	1.97	1.9	
FIABILIDAD(Horas)	58.62	68.80	44.74	61.38	84.00	100.00	90.53	110.00	77.3	
INDICADORES DE DESEMPEÑO										
INDICE DE INTERFERENCIA CORRECTIVA IMC	3.28%	2.15%	3.70%	3.11%	2.28%	1.54%	2.26%	1.71%	2.50%	
INDICE DE INTERFERENCIA PREVENTIVA IMP	3.08%	3.09%	3.07%	2.96%	3.15%	3.14%	3.08%	3.03%	3.08%	
INDICE DE CONFIABILIDAD OPERACIONAL ICO	93.64%	94.77%	93.23%	93.93%	94.57%	95.32%	94.66%	95.26%	94.42%	
INDICE DE COSTO DE MANTENIMIENTO ICM	10.04%	8.19%	11.00%	9.52%	8.30%	7.09%	8.15%	7.14%	8.68%	

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 54 Desempeño de Indicadores Energéticos en Flota de Excavadoras 322D-Periodo final

	EXCAV.N°1	EXCAV.N°2	EXCAV.N°3	EXCAV.N°4	EXCAV.N°5	EXCAV.N°6	EXCAV.N°7	EXCAV.N°8	TOTAL
COMBUSTIBLE DIESEL B5									
CONSUMO(Gal/periodo de analisis)	10321	10562	10322.00	11025	10123	10120	10356	10523	10419.0
INDICADOR HORARIO(Gal/h)	6.071	6.141	6.072	6.194	6.026	5.953	6.021	5.979	6.057
COSTO(US\$/periodo de analisis)	40251.90	41191.80	40255.80	42997.50	39479.70	39468.00	40388.40	41039.70	40634.10
INDICADOR(US\$/hora)	23.678	23.949	23.680	24.156	23.500	23.216	23.482	23.318	23.622
INDICADORES ENERGETICOS									
IE1 (Diesel B5)/hora	6.071	6.141	6.072	6.194	6.026	5.953	6.021	5.979	6.057
IE2 (Diesel B5)/(hora-TMPR)	2.96	3.94	3.42	3.04	2.98	3.68	2.79	3.04	3.23
IE3 (Diesel B5)/(hora-TMEF)	0.1036	0.0893	0.1357	0.1009	0.0717	0.0595	0.0665	0.0544	0.0852
IE4 (Galones de Diesel B5)/(hora-falla)	0.2094	0.2456	0.1598	0.2136	0.3013	0.3502	0.3169	0.3737	0.2713
IE5 (Diesel B5)/(hora-HMC)	0.1020	0.1575	0.0900	0.1050	0.1488	0.2165	0.1469	0.1898	0.1445

Fuente: Elaboración propia

4.5 EVALUACION DEL ESTADO DE INDICADORES DE CAMIONES VOLQUETE

PERIODO FINAL: La evaluación se realiza para el camión volquete N° 2, luego en los cuadros resúmenes se analiza el comportamiento de las 7 máquinas restantes para el periodo final luego de aplicar el plan de mantenimiento en función a la condición.

4.5.1 OCURRENCIA DE FALLAS:

Se presenta la lista de fallas que se suscitan para un periodo de 6 meses (Enero-Junio 2015) para el camión volquete N° 2 la cual se encuentra con un grado de criticidad importante.

Cuadro N° 55 Ocurrencia de fallas Camión Volquete N° 2-Periodo final

N°	SISTEMA	SUBSISTEMA	OCURRENCIAS	HORAS DE PARADA	TOTAL HORAS
1	Potencia	MOTOR PRINCIPAL	1	4	4
2	Potencia	ADMISION Y ESCAPE	1	2.5	2.5
3	Potencia	ENFRIAMIENTO	0	3	0
4	Potencia	INYECCION	1	5	5
5	Potencia	LUBRICACION	0	2.5	0
6	Eléctrico-Electronico	ILUMINACION	3	0.5	1.5
7	Eléctrico-Electronico	ELECTRICO	1	1.5	1.5
8	Eléctrico-Electronico	CONTROL	1	0.5	0.5
9	Motriz	TRANSMISION	3	3	9
10	Motriz	FRENOS	0	2.5	0
11	Motriz	NEUMATICOS	1	2	2
12	Motriz	DIRECCION	2	2.5	5
13	Hidráulico	BOMBA	1	4	4
14	Hidráulico	DISTRIBUCION	2	1.5	3
15	Hidráulico	ACTUADORES	2	1.5	3
16	Hidráulico	COMPONENTES	2	1.5	3
17	Estructural	PARACHOQUE	1	2	2
18	Estructural	BASTIDOR	1	1.5	1.5
19	Estructural	CARROCERIA	1	1.5	1.5
TOTAL			24	43	49

Fuente: Elaboración propia

4.5.2 DETERMINACION DE LOS COSTOS POR MANTENIMIENTO CORRECTIVO:

a. DETERMINACION DEL COSTO UNITARIO:

Se toma como referencia el Costo Unitario obtenido en el ítem 4.1.2:

$$\text{Jornal Horario Promdio} = 5.30 \text{ U\$/hora}$$

b. COSTO DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO: Se presenta el cuadro resumen de costos por mantenimiento correctivo –periodo final:

Cuadro N° 56-A Costo de Mantenimiento correctivo en Camión Volquete N° 2-Final

CODIGOS DE FALLAS	SISTEMAS	SUB - SISTEMAS	DESCRIPCION DE FALLAS	HORAS DE PARADA	CANT. DE PERSONAL	HORAS HOMBRES (HH)	COSTO DE REPUESTOS (CR)	COSTO DE MANC OBRA (MO)	COSTO TOTAL (CT)	OCURENCIAS	HORAS PERDIDAS (HP)	COSTO M.C(US\$)
1	Potencia	Motor	Válvulas de la bomba de tran	4	2	8	30	42.4	72.4	1	4	72.4
2	Potencia	Motor	Rotura de la faja del motor	4	2	8	40	42.4	82.4	0	0	0.0
3	Potencia	Admision y escape	Pase de aceite de motor por	2.5	2	5	25	26.5	51.5	1	2.5	51.5
4	Potencia	Enfriamiento	Radiador de aire (Intercooler)	3	2	6	25	31.8	56.8	0	0	0.0
5	Potencia	Enfriamiento	Fuga de liquido refrigerante p	3	2	6	20	31.8	51.8	0	0	0.0
6	Potencia	Inyeccion	Caida de presion en inyector	5	2	10	120	53.0	173.0	1	5	173.0
7	Potencia	Lubricacion	Mal funcionamiento de bomba	2.5	2	5	80	26.5	106.5	0	0	0.0
										3	11.5	296.97
8	Eléctrico	Iluminacion	Faros de luz baja no enciend	0.5	1	0.5	10	2.7	12.7	0	0	0.0
9	Eléctrico	Iluminacion	Faros de luz alta no enciende	0.5	1	0.5	10	2.7	12.7	0	0	0.0
10	Eléctrico	Iluminacion	Faro de luz de retroceso no e	0.5	1	0.5	10	2.7	12.7	1	0.5	12.7
11	Eléctrico	Iluminacion	Soquete de faros delanteros	0.5	1	0.5	10	2.7	12.7	1	0.5	12.7
12	Eléctrico	Iluminacion	Conectores del arnés de faro	0.5	1	0.5	12	2.7	14.7	1	0.5	14.7
13	Eléctrico	Iluminacion	Luces laterales de la tolva, n	0.5	1	0.5	15	2.7	17.7	0	0	0.0
14	Eléctrico	Electrico	El arrancador no responde, e	1.5	2	3	40	15.9	55.9	0	0	0.0
15	Eléctrico	Eléctrico	Alternador no genera carga	1.5	2	3	50	15.9	65.9	1	1.5	65.9
16	Eléctrico	Eléctrico	La bateria no retiene carga	1.5	2	3	40	15.9	55.9	0	0	0.0
17	Eléctrico	Control	Alarma no funciona	0.5	1	0.5	15	2.7	17.7	0	0	0.0
18	Eléctrico	Control	Solenoide de apagado de mo	0.5	1	0.5	20	2.7	22.7	1	0.5	22.7
										5	3.5	128.52

Fuente : Elaboración propia

Cuadro N° 56-B Costo de Mantenimiento correctivo en Camión Volquete N° 2-Final

CODIGOS DE FALLAS	SISTEMAS	SUB - SISTEMAS	DESCRIPCION DE FALLAS	HORAS DE PARADA	CANT. DE PERSONAL	HORAS HOMBRES (HH)	COSTO DE REPUESTOS (CR)	COSTO DE MANC OBRA (MO)	COSTO TOTAL (CT)	OCURENCIAS	HORAS PERDIDAS (HP)	COSTO M.C.(U\$)
19	Motriz	Transmision	Pedal de embrague se encue	3	2	6	70	31.8	101.8	1	3	101.8
20	Motriz	Transmision	Reten de rueda delantera de	3	2	6	40	31.8	71.8	1	3	71.8
21	Motriz	Transmision	Fuga de aceite por el reten d	3	2	6	30	31.8	61.8	1	3	61.8
22	Motriz	Frenos	Fugas de aire por las cañería	2.5	2	5	30	26.5	56.5	0	0	0.0
23	Motriz	Frenos	Fuga de aire por la válvula de	2.5	2	5	30	26.5	56.5	0	0	0.0
24	Motriz	Frenos	Regulación de los frenos de	2.5	2	5	40	26.5	66.5	0	0	0.0
25	Motriz	Frenos	Pulmón de freno (maxibrake)	2.5	2	5	35	26.5	61.5	0	0	0.0
26	Motriz	Frenos	Desgaste interior de los tamb	2.5	3	7.5	45	39.8	84.8	0	0	0.0
27	Motriz	Frenos	Fajas de las zapatas de fren	2.5	2	5	50	26.5	76.5	0	0	0.0
28	Motriz	Neumáticos	Neumático se baja	2	3	6	40	31.8	71.8	1	2	71.8
29	Motriz	Neumáticos	Neumáticos con desgaste de	2	2	4	200	21.2	221.2	0	0	0.0
30	Motriz	Dirección	Fuga de aceite por la bomba	2.5	2	5	50	26.5	76.5	2	5	153.0
31	Motriz	Dirección	Terminales de la barra larga	2.5	2	5	60	26.5	86.5	0	0	0.0
										6	16	460.30
32	Hidráulico	Bomba	Ruido en el interior de la Tom	4	3	12	60	63.6	123.6	0	0	0.0
33	Hidráulico	Bomba	Fuga de aceite por el sw itch	4	2	8	40	42.4	82.4	1	4	82.4
34	Hidráulico	Distribucion	Fuga de aceite por la mangu	1.5	2	3	30	15.9	45.9	1	1.5	45.9
35	Hidráulico	Distribucion	Fuga de aceite por el niple de	1.5	2	3	30	15.9	45.9	1	1.5	45.9
36	Hidráulico	Distribucion	Fuga de aceite por la electro	1.5	2	3	30	15.9	45.9	0	0	0.0
37	Hidráulico	Actuadores	Desgaste de las guías tipo pa	1.5	2	3	30	15.9	45.9	0	0	0.0
38	Hidráulico	Actuadores	Fuga de aceite por el reten d	1.5	2	3	40	15.9	55.9	1	1.5	55.9
39	Hidráulico	Actuadores	Fuga de aceite por el reten d	1.5	2	3	45	15.9	60.9	1	1.5	60.9
40	Hidráulico	Componentes	El resorte para seguros de g	1.5	2	3	40	15.9	55.9	0	0	0.0
41	Hidráulico	Componentes	Desgaste de las guías de ext	1.5	2	3	50	15.9	65.9	2	3	131.8
										7	13	422.88
42	Estructural	Estructural	Parachoques posterior se en	2	2	4	50	21.2	71.2	1	2	71.2
43	Estructural	Estructural	Barandas de la tolva se encu	1.5	2	3	45	15.9	60.9	1	1.5	60.9
44	Estructural	Estructural	Fisuras de los travesaños er	1.5	2	3	50	15.9	65.9	1	1.5	65.9
										3	5	198.03
TOTAL										24	49	1506.70

Fuente : Elaboración propia

4.5.3 DETERMINACION DE COSTOS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO:

- Para el Mantenimiento preventivo en función al tiempo , la secuencia de trabajo se ha organizado primariamente según las recomendaciones del fabricante , con las siguientes características rutinarias:

MP1 = Mantenimiento mensual (30 días)

MP2 = Mantenimiento 1 mes y medio (Entre los 42 y 45 días)

MP3 = Mantenimiento trimestral (90 días)

MP4 = Mantenimiento semestral (180 días)

- Se tienen las ordenes de servicio de mantenimiento preventivo con lo referente a los filtros del Motor CAT C32 ACERT, filtros del sistema hidráulico de la tolva articulada , aceites y grasas para los distintos puntos de engrase e inspección de los sistemas eléctricos/control y mando.

Cuadro N° 57 Mantenimiento Preventivo-Filtros de Motor en Camión Volquete N° 2-Periodo final

FILTROS MOTOR C32 ACERT -SISTEMA DE POTENCIA					ORDEN DE SERVICIO
DESCRIPCION	CODIGO	CANT. (UN)	COSTO (US\$)		
			UNITARIO	TOTAL	
COMBUSTIBLE PRIMARIO	FB62627	1	30.00	30.00	MP4
COMBUSTIBLE SECUNDARIO	FF5052	1	22.00	22.00	MP3
ACEITE MOTOR	LF3000	1	60.00	60.00	MP4
AGUA	WF2073	1	32.00	32.00	MP4
AIRE PRIMARIO	S3214	1	65.00	65.00	MP4
AIRE SECUNDARIO	D 182049	1	60.00	60.00	MP3
ACEITE CAJA DIRECCION	MOBIL SHC GEAR 220	1	40.00	40.00	MP4

Fuente : Elaboración propia

Cuadro N° 58 Mantenimiento Preventivo-Filtros de Tolva articulada en Camión Volquete N° 2-Periodo final

FILTROS TOLVA ARTICULADA -SISTEMA HIDRAULICO					ORDEN DE SERVICIO
DESCRIPCION	CODIGO	CANT. (UN)	COSTO (US\$)		
			UNITARIO	TOTAL	
HIDRAULICO (Circuito Alta Presion)	EA 1392	1	80.0	80.00	MP4
HIDRAULICO (Circuito de Retorno)	EA 1761	1	60.0	60.00	MP4
HIDRAULICO (Circuito de alivio)	EA 1814	1	60.0	60.00	MP4

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 59 Mantenimiento Preventivo-Aceites Camión Volquete N° 2-periodo final

ACEITES					ORDEN DE SERVICIO
DESCRIPCION	CODIGO	CANT. (GAL)	COSTO (US\$)		
			UNITARIO	TOTAL	
MOTOR	RIMULAW15X40	6	45.00	270.00	MP3
DIRECCION	ATF SPECIAL	1.5	40.00	60.00	MP3
SISTEMA HIDRAULICO	TELLUS 46	25	42.00	1050.00	MP3
CAJA DE TRANSMISION	MOBIL 600XP	5	35.00	175.00	MP3
CORONAS / DIFERENCIAL	CAT GO 80W-90	4	30.00	120.00	MP3
CUBOS	SAE 85W40	4	20.00	80.00	MP3
LIQUIDO REFRIGERANTE	CAT DEAC	5	25.00	125.00	MP4

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 60 Mantenimiento Preventivo- Engrase Camión Volquete N° 2-Periodo final

GRASAS					ORDEN DE SERVICIO
DESCRIPCION	CODIGO	CANT. (KG)	COSTO (US\$)		
			UNITARIO	TOTAL	
PUNTOS DE LUBRICACION	MULTIPROPOSITO NLG2	1.8	32.00	57.60	MP1
GUIAS DE LAS EXTENSIONES	MULTIPROPOSITO NLG3	1.5	30.00	45.00	MP2

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 61 Mantenimiento Preventivo-Inspección Sistema Eléctrico/Electrónico/Control Camión Volquete N° 2-Periodo final

SISTEMA ELECTRICO/ELECTRONICO/CONTROL					ORDEN DE SERVICIO
DESCRIPCION	CODIGO	CANT. (unid)	COSTO (US\$)		
			UNITARIO	TOTAL	
LIMPIEZA DE CONTACTO	SILJET	1	3.00	3.00	MP1
TAREAS DE AJUSTE	UNIDADES	1	3.00	3.00	MP1
REVISION DE CIRCUITOS DE MANDO	UNIDADES	1	3.00	3.00	MP1
REVISION BATERIA	CONTACTOS	1	3.00	3.00	MP1
MEDICION DE CONTACTOS DE ARRQ.	UNIDADES	1	3.00	3.00	MP1

Fuente: Elaboración propia

- Se determinan seguidamente los costos de mantenimiento preventivo para cada una de las ordenes de servicio para cada mantenimiento preventivo

Para la ORDEN DE SERVICIO MP1 se tiene el siguiente costo :

$$\text{Costo MP1} = \text{U\$ } 72.60$$

Para la ORDEN DE SERVICIO MP2 se tiene el siguiente costo:

$$\text{Costo MP2} = \text{U\$ } 45.00$$

Para la ORDEN DE SERVICIO MP3 se tiene el siguiente costo:

$$\text{Costo MP3} = \text{U\$ } 1,815.00$$

Para la ORDEN DE SERVICIO MP4 se tiene el siguiente costo:

$$\text{Costo MP4} = \text{U\$ } 574.00$$

- Se tienen los cálculos para los costos de mantenimiento preventivo para cada uno de los periodos de trabajo establecidos para la máquina.

Para el periodo MENSUAL se tiene el siguiente costo:

$$\text{Costo MP mensual} = \text{Costo MP1} = \text{U\$ } 72.60$$

Para el periodo MES Y MEDIO se tiene el siguiente costo :

$$\text{Costo MP Mes y medio} = \text{Costo MP2} = \text{U\$ } 45.00$$

Para el periodo TRIMESTRAL se tiene el siguiente costo:

$$\begin{aligned}\text{Costo MP Trimestral} &= \text{Costo MP3} + \text{Costo MP2} + \text{Costo MP1} \\ \text{Costo MP Trimestral} &= 1,815.00 + 45.00 + 72.60 = 1,932.60 \text{ U\$}\end{aligned}$$

Para el periodo SEMESTRAL se tiene el siguiente costo:

$$\begin{aligned}\text{Costo MP Semestral} &= \text{Costo MP4} + \text{Costo MP3} + \text{Costo MP2} + \text{Costo MP1} \\ \text{Costo MP4} &= 574.00 + 1,932.00 = 2,506.60 \text{ U\$}\end{aligned}$$

Cuadro N° 62 Costo de Mantenimiento Preventivo por periodos Camión Volquete N° 2-Periodo Final

PERIODO	CODIGO	Orden de servicio	COSTO Mpi(US\$)
Mensual	MP1	Servicio realizado a las 300 horas	72.60
Mes y medio	MP2	Servicio realizado a las 450 horas	45.00
Mensual	MP1	Servicio realizado a las 600 horas	72.60
Trimestral	MP3	Servicio realizado a las 900 horas	1932.60
Mensual	MP1	Servicio realizado a las 1,200 horas	72.60
Mes y medio	MP2	Servicio realizado a las 1,350 horas	45.00
Mensual	MP1	Servicio realizado a las 1,500 horas	72.60
Semestral	MP4	Servicio realizado a las 1,800 horas	2506.60

Fuente: Elaboración propia

Se tienen un costo de mantenimiento preventivo para el periodo de evaluación de 6 meses igual a:

$$CMP = 4,819.60 \text{ U\$}$$

Se detallan así mismo las horas dedicadas al mantenimiento preventivo:

$$HMP1 = 4 \text{ horas} * 1 \text{ operador} = 4 * 5.30 = 21.20 \text{ U\$}$$

$$HMP2 = 2 \text{ horas} * 1 \text{ operador} = 2 * 5.30 = 10.60 \text{ U\$}$$

$$HMP3 = 8 \text{ horas} * 2 \text{ operadores} = 8 * 2 * 5.30 = 84.80 \text{ U\$}$$

$$HMP4 = 10 \text{ horas} * 2 \text{ operadores} = 10 * 2 * 5.30 = 106.00 \text{ U\$}$$

Se determinan los Costos por mano de obra en MP, según el siguiente cuadro:

Cuadro N° 63 Costo de Mantenimiento Preventivo Mano de Obra Camión Volquete N° 2-Periodo Final

PERIODO	CODIGO	Orden de servicio	COSTO MOMP(US\$)	HORAS
Mensual	MP1	Servicio realizado a las 300 horas	21.20	4
Mes y medio	MP2	Servicio realizado a las 450 horas	10.60	2
Mensual	MP1	Servicio realizado a las 600 horas	21.20	4
Trimestral	MP3	Servicio realizado a las 900 horas	84.80	16
Mensual	MP1	Servicio realizado a las 1,200 horas	21.20	4
Mes y medio	MP2	Servicio realizado a las 1,350 horas	10.60	2
Mensual	MP1	Servicio realizado a las 1,500 horas	21.20	4
Semestral	MP4	Servicio realizado a las 1,800 horas	106.00	20
TOTAL			296.80	56

Fuente: Elaboración propia

Se tienen un costo de mantenimiento preventivo en mano de obra para el periodo de evaluación de 6 meses igual a:

$$CMOMP = 296.80 \text{ U\$}$$

Los costos totales de mantenimiento preventivo se obtienen sumando el CMP y CMOMP:

$$CTMP = 4,819.60 + 296.80 = 5,116.40 \text{ U\$}$$

4.5.4 DETERMINACION DE LOS COSTOS DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO:

En función a las actividades de mantenimiento predictivo, se tiene que tan solo se debe alquilar los servicios de una consultora externa para analizar la calidad del aceite del sistema hidráulico trimestralmente.

Cuadro N° 64 Costo de Mantenimiento Predictivo Camión Volquete N° 2-Periodo Final

N°	TIPO	FRECUENCIA	COSTO UNIARIO(US)	COSTO TOTAL(US)
1	Termografía	Mensual	Propio	
2	Tribología	Trimestral	200.00	400.00
3	Desgaste pala	Mensual	Propio	
4	Dureza pala	Mensual	Propio	

Fuente: Elaboración propia

4.5.5 DETERMINACION DE LOS COSTOS DE INDISPONIBILIDAD OPERATIVA POR MANTENIMIENTO:

El Costo de indisponibilidad operativa por mantenimiento (CIOM)Este indicador nos evalúa el costo asociado a las horas que se dedican a mantenimiento correctivo bajo el criterio de que las maquinas han sido alquiladas.

Horas perdidas por mantenimiento correctivo HPMC = 49 horas

Costo alquiler maquina hora = 60 U\$

$$CIOM = (HPMC) * \text{costo alquiler maquina hora}$$

$$CIOM = 49 * 60 = 2,940.00 \text{ U\$}$$

4.5.6 DETERMINACION DE LOS COSTOS DE MANTENIMIENTO TOTALES:

Se tienen los siguientes datos para poder determinar los costos de mantenimiento totales:

Costo total de mantenimiento correctivo = CTMC = U\$ 1,506.70

Costo total de mantenimiento preventivo = CTMP = U\$ 5,116.40

Costo por mantenimiento Predictivo = CM Prd. = U\$ 400.00

Costo de indisponibilidad operativa por mantenimiento = CIOM = U\$ 2,940.00

$$CMT = 1,506.70 + 5,116.40 + 400.00 + 2,940.00 = 9,963.10 \text{ U\$}$$

4.5.7 EVALUACION DE INDICADORES DE MANTENIMIENTO:

a. DETERMINACION DE LOS KPI DE MANTENIMIENTO:

TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS (TMEF): Se evalúa según la ecuación N° 1:

Para un total de 1,750 horas de operación:

$$TMEF = MTBF = \frac{1,750}{24} = 72.92 \text{ horas}$$

Dónde:

HTO = Son la suma total de horas de operaciones efectuadas en un periodo de tiempo de análisis= 1,750 horas

NF= Numero de fallas ocurridas en un periodo de tiempo analizado= 24 fallas

TIEMPO MEDIO PARA LA REPARACIÓN (TMPR): Este valor se evalúa según la ecuación N° 2:

$$TMPR = MTTR = \frac{49}{24} = 2.04 \text{ horas}$$

Dónde:

HTP = Horas totales de parada o fuera de servicio=49 horas

TIEMPO MEDIO PARA FALLAS (TMPF) :

Este indicador se evalúa según la ecuación N° 3:

$$TMPF = MTTF = TMEF + TMPR = 72.92 + 2.04 = 74.96 \text{ horas}$$

b. INDICADORES DE MANTENIMIENTO:

DISPONIBILIDAD:

La disponibilidad de un equipo se evalúa según la ecuación N° 4:

$$Disponibilidad = \frac{1,750 - 49}{1,750} * 100\% = 97.20 \%$$

CONFIABILIDAD: Se evalúa según la ecuación N° 5:

$$Confiabilidad = \frac{TMEF}{TMEF + TMPR} = \frac{72.92}{74.96} * 100\% = 97.28 \%$$

MANTENIBILIDAD: La mantenibilidad es igual a:

$$Mantenibilidad = 2.04 \text{ horas}$$

FIABILIDAD: Es igual a :

$$Fiabilidad = TMEF = 72.92 \text{ horas}$$

c. INDICES DE DESEMPEÑO:

INDICE DE INTERFERENCIA CORRECTIVA IMC: Este indicador evalúa el porcentaje de horas destinadas a mantenimiento correctivo en relación al número total de horas, según la ecuación N° 24

$$IMC = \frac{HMCT}{HMCT + HOT + HMPT} = \frac{49}{49 + 1750 + 56} * 100\% = 2.64 \%$$

Dónde:

HMCT = Horas Totales de Mantenimiento correctivo = 49 horas

HOT = Horas totales de operación = 1,750 horas

HMPT = Horas totales de Mantenimiento correctivo = 56 horas

INDICE DE INTERFERENCIA PREVENTIVA IMP: Este indicador evalúa el porcentaje de horas destinadas a mantenimiento preventivo en relación al número total de horas, según la ecuación N° 25:

$$IMP = \frac{HMPT}{HMCT + HOT + HMPT} = \frac{56}{49 + 1750 + 56} * 100\% = 3.02\%$$

INDICE DE CONFIABILIDAD OPERACIONAL ICO: Este indicador evalúa el porcentaje de horas destinadas al alquiler de las maquinas en relación al número total de horas , según la ecuación N° 26:

$$ICO = \frac{1750}{49 + 1750 + 56} * 100\% = 94.34 \%$$

INDICE DE COSTO DE MANTENIMIENTO ICM: Relaciona el costo de mantenimiento entre el costo de alquiler , según la ecuación 27:

$$ICM = \frac{CMT}{HOT * Costo Alquiler} * 100 \% = \frac{9,963.10}{(1750 * 60)} = 9.49 \%$$

4.5.8 EVALUACION DE INDICADORES ENERGETICOS:

a. CONSUMO DE ENERGIA:

Se tiene así mismo el consumo y costo de energía en los meses de evaluación del Petróleo Diesel B5:

Cuadro N° 65 Consumo y costo de Diesel B5 Camión Volquete N° 2-Periodo final

N°	MES	HORAS	CONSUMO(Gal/mes)	INDICADOR HORARIO (Gal/h)	COSTO(U\$/mes)	INDICADOR(U\$/h)
1	Enero	280	1478	5.279	5764.20	20.586
2	Febrero	270	1436	5.319	5600.40	20.742
3	Marzo	310	1523	4.913	5939.70	19.160
4	Abril	300	1512	5.040	5896.80	19.656
5	Mayo	310	1512	4.877	5896.80	19.022
6	Junio	280	1465	5.232	5713.50	20.405
TOTAL		1750	8926	5.101	34811.40	19.892

Fuente: Elaboración propia

b. INDICADORES ENERGETICOS:

Se tienen los siguientes indicadores energéticos:

INDICADOR ENERGETICO N°1

$$IE1 = \frac{\text{Galones de Diesel B5 6 meses}}{\text{Horas totales operativas 6 meses}} = \frac{8,926.00}{1,750} = 5.101 \frac{\text{Diesel B5}}{\text{hora}}$$

INDICADOR ENERGETICO N° 2 :

$$IE2 = \frac{\text{Galones de Diesel B5 /h}}{\text{Mantenibilidad (horas)}} = \frac{5.101 \frac{\text{Diesel B5}}{\text{hora}}}{2.04 \text{ horas}} =$$
$$IE2 = 2.50 \frac{\text{Diesel B5}}{\text{hora} - \text{TMPR}}$$

INDICADOR ENERGETICO N° 3

$$IE3 = \frac{\text{Galones de Diesel B5 /h}}{\text{Fiabilidad (horas)}} = \frac{5.101 \frac{\text{Diesel B5}}{\text{hora}}}{72.92 \text{ horas}}$$
$$IE3 = 0.07 \frac{\text{Diesel B5}}{\text{hora} - \text{TMEF}}$$

INDICADOR ENERGETICO N° 4 :

$$IE4 = \frac{\text{Galones de Diesel B5/hora}}{\text{Numero de fallas}} = \frac{5.101}{24} = 0.2125 \frac{\text{Galones de Diesel B5}}{\text{hora} - \text{falla}}$$

INDICADOR ENERGETICO N° 5 :

$$IE5 = \frac{\text{Galones de Diesel B5/hora}}{\text{Horas Mantenimiento Correctivo}} = \frac{5.101}{49} = 0.1041 \frac{\text{Diesel B5}}{\text{hora} - \text{HMC}}$$

4.5.9 RESUMEN FLOTA DE CAMIONES VOLQUETE EXCAVADORAS 322D:

Se presenta el resumen de información de la flota de 08 Excavadoras 777G CAT tomadas como muestra de estudio para el periodo final de estudio Enero-Junio 2015.

Cuadro N°66 Ocurrencia de fallas en Flota de Camiones Volquete 777G CAT -Periodo Final

N°	SISTEMA	SUBSISTEMA	VOLQ .N°1	VOLQ .N°2	VOLQ .N°3	VOLQ .N°4	VOLQ .N°5	VOLQ .N°6	VOLQ .N°7	VOLQ .N°8	TOTAL
1	Potencia	MOTOR PRINCIPAL	0	1	1	2	0	1	1	1	7
2	Potencia	ADMISION Y ESCAPE	1	1	1	0	0	0	0	1	4
3	Potencia	ENFRIAMIENTO	1	0	0	0	2	1	0	0	4
4	Potencia	INYECCION	1	1	0	2	0	0	0	0	4
5	Potencia	LUBRICACION	0	0	0	0	1	1	0	0	2
6	Eléctrico-Electronico	ILUMINACION	2	3	2	2	3	2	1	1	16
7	Eléctrico-Electronico	ELECTRICO	2	1	1	0	1	2	1	2	10
8	Eléctrico-Electronico	CONTROL	0	1	1	2	0	0	1	0	5
9	Motriz	TRANSMISION	2	3	1	1	0	3	1	0	11
10	Motriz	FRENOS	1	0	1	0	3	0	1	0	6
11	Motriz	NEUMATICOS	1	1	2	0	0	0	2	3	9
12	Motriz	DIRECCION	1	2	1	1	0	1	0	0	6
13	Hidráulico	BOMBA	1	1	1	1	2	2	1	2	11
14	Hidráulico	DISTRIBUCION	3	2	0	2	1	3	3	0	14
15	Hidráulico	ACTUADORES	2	2	0	4	0	0	2	1	11
16	Hidráulico	COMPONENTES	2	2	2	2	3	0	0	0	11
17	Estructural	PARACHOQUE	1	1	1	0	0	0	0	1	4
18	Estructural	BASTIDOR	1	1	0	1	0	0	0	0	3
19	Estructural	CARROCERIA	1	1	1	1	1	1	1	0	7
TOTAL			23	24	16	21	17	17	15	12	145

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 67 Desempeño del mantenimiento en Flota de Volquete 777G CAT -Periodo Final

	VOLQ.N°1	VOLQ.N°2	VOLQ.N°3	VOLQ.N°4	VOLQ.N°5	VOLQ.N°6	VOLQ.N°7	VOLQ.N°8	TOTAL	
HORAS MANTENIMIENTO CORRECTIVO	42.5	49	30.5	44.5	31	37.5	28.5	27	36.3	
COSTO TOTAL MANTENIMIENTO CORRECTIVO(US\$)	1565.45	1506.70	1097.35	1417.58	1041.52	1022.42	1218.18	1002.35	1233.94	
COSTO TOTAL MANTENIMIENTO PREVENTIVO(US\$)	5116.40	5116.40	5116.40	5116.40	5116.40	5116.40	5116.40	5116.40	5116.40	
COSTO TOTAL MANTENIMIENTO PREDICTIVO(US\$)	400.00	400.00	400.00	400.00	400.00	400.00	400.00	400.00	400.00	
COSTO DE IND. OPERATIVA POR MANTENIMIENTO(US\$)	2550.00	2940.00	1830.00	2670.00	1860.00	2250.00	1710.00	1620.00	2178.75	
COSTO DE MANTENIMIENTO TOTAL	9631.85	9963.10	8443.75	9603.98	8417.92	8788.82	8444.58	8138.75	8929.09	
INDICADORES DE MANTENIMIENTO										
HORAS TOTALES DE OPERACIÓN	1650	1750	1700	1750	1800	1800	1700	1750	1737.5	
KPI	TMEF(HORAS)	71.74	72.92	12.96	83.33	105.88	105.88	113.33	145.83	89.0
	TMPR(HORAS)	1.85	2.04	1.91	2.12	1.82	2.21	1.90	2.25	2.0
	TMPF(HORAS)	73.59	74.96	14.87	85.45	107.71	108.09	115.23	148.08	91.0
INDICADORES DE MANTENIMIENTO										
DISPONIBILIDAD	97.42%	97.20%	98.21%	97.46%	98.28%	97.92%	98.32%	98.46%	97.91%	
CONFIABILIDAD	97.49%	97.28%	87.18%	97.52%	98.31%	97.96%	98.35%	98.48%	96.57%	
MANTENIBILIDAD(Horas)	1.85	2.04	1.91	2.12	1.82	2.21	1.90	2.25	2.0	
FIABILIDAD(Horas)	71.74	72.92	12.96	83.33	105.88	105.88	113.33	145.83	89.0	
INDICADORES DE DESEMPEÑO										
INDICE DE INTERFERENCIA CORRECTIVA IMC	2.43%	2.64%	1.71%	2.40%	1.64%	1.98%	1.60%	1.47%	1.98%	
INDICE DE INTERFERENCIA PREVENTIVA IMP	3.20%	3.02%	3.13%	3.03%	2.97%	2.96%	3.14%	3.06%	3.06%	
INDICE DE CONFIABILIDAD OPERACIONAL ICO	94.37%	94.34%	95.16%	94.57%	95.39%	95.06%	95.26%	95.47%	94.95%	
INDICE DE COSTO DE MANTENIMIENTO ICM	9.73%	9.49%	8.28%	9.15%	7.79%	8.14%	8.28%	7.75%	8.58%	

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 68 Desempeño de Indicadores Energéticos en Flota de Volquete 777G CAT -Periodo Final

	VOLQ.N°1	VOLQ.N°2	VOLQ.N°3	VOLQ.N°4	VOLQ.N°5	VOLQ.N°6	VOLQ.N°7	VOLQ.N°8	TOTAL
COMBUSTIBLE DIESEL B5									
CONSUMO(Gal/periodo de analisis)	8395	8926	8652.00	8825	9010	9054	8512	8768	8767.8
INDICADOR HORARIO(Gal/h)	5.088	5.101	5.089	5.043	5.006	5.030	5.007	5.010	5.047
COSTO(US\$/periodo de analisis)	32740.50	34811.40	33742.80	34417.50	35139.00	35310.60	33196.80	34195.20	34194.23
INDICADOR(US\$/hora)	19.843	19.892	19.849	19.667	19.522	19.617	19.528	19.540	19.682
INDICADORES ENERGETICOS									
IE1 (Diesel B5)/hora	5.088	5.101	5.089	5.043	5.006	5.030	5.007	5.010	5.047
IE2 (Diesel B5)/(hora-TMPR)	2.75	2.50	2.67	2.38	2.74	2.28	2.64	2.23	2.52
IE3 (Diesel B5)/(hora-TMEF)	0.0709	0.0700	0.3927	0.0605	0.0473	0.0475	0.0442	0.0344	0.0959
IE4 (Galones de Diesel B5)/(hora-falla)	0.2212	0.2125	0.3181	0.2401	0.2944	0.2959	0.3338	0.4175	0.2917
IE5 (Diesel B5)/(hora-HMC)	0.1197	0.1041	0.1669	0.1133	0.1615	0.1341	0.1757	0.1856	0.1451

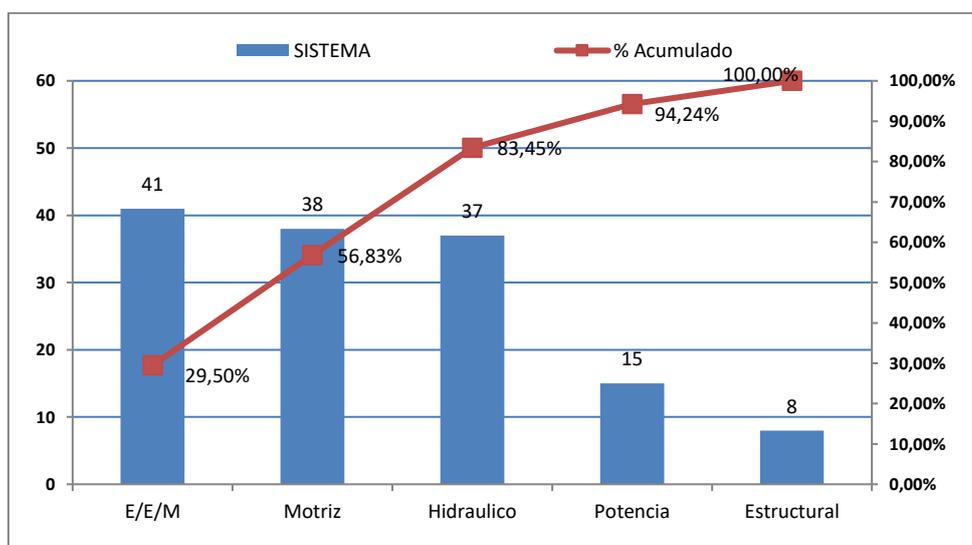
Fuente: Elaboración propia

4.6 DISCUSION RESULTADOS:

4.6.1 REFERENTE A LA MUESTRA DE ESTUDIO:

- Se tiene una muestra de estudio conformado por 08 excavadoras 322D las cuales realizan operaciones de excavado , remoción y retiro de material para la preparación de las instalaciones de la mina SULLIDEN SHAHUINDO SAC , de las cuales según la información suministrada por la empresa se selecciona la Excavadora N° 3 , la cual tiene un grado de criticidad importante, con la finalidad de poder aplicar los cálculos del presente informe. Se presenta a través de un diagrama de Pareto el comportamiento de sus 05 sistemas que la conforman , en la cual se tiene un total de 139 paradas ocurridas durante el periodo Enero-Junio 2014, donde el sistema Eléctrico/Electrónico y de Mando presentan 41 ocurrencias de fallas lo que representa el 29.50 % del total suscitadas , así mismo entre los sistemas Eléctrico/Electrónico y de Mando, Motriz e Hidráulico acumulan el mayor número de ocurrencia de fallas con 83.45 % del Total.(Grafico N° 1)

Grafico N°1 Diagrama de Pareto –Ocurrencia de Fallas Excavadora N°3

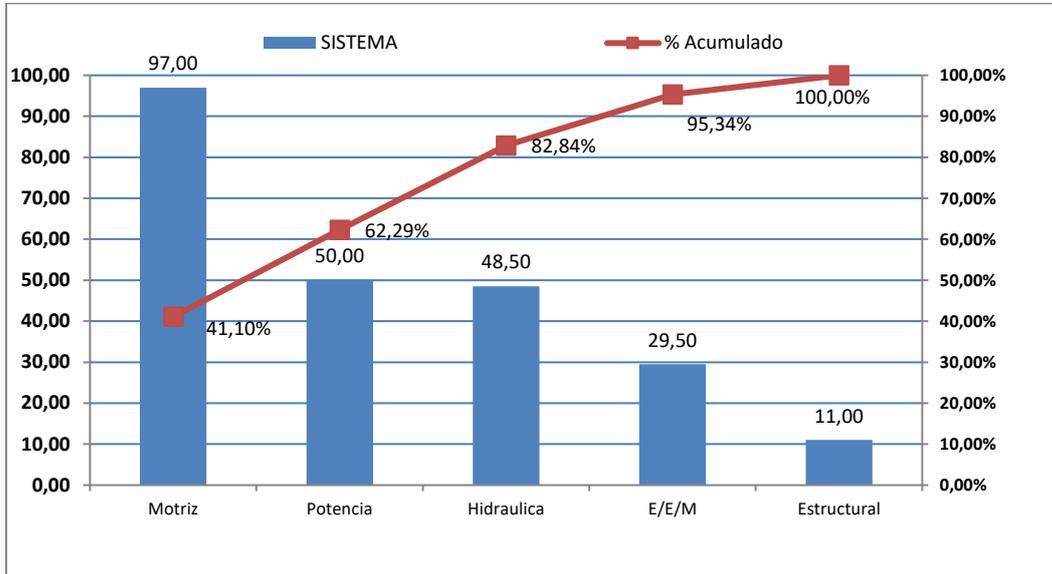


Fuente: Elaboración Propia.

Con respecto al periodo de duración de las fallas (Grafico N° 2) , se ha tenido un total de 236 horas de duración para las 139 ocurrencia de fallas suscitadas en el periodo inicial de análisis. De lo cual , en el sistema motriz ,se han presentado 97 horas correspondientes a las fallas en este sistema ,lo que representa el 41.10 % del tiempo total. Los tres sistemas de mayor presencia en tiempo de duración de las ocurrencias de fallas son el sistema

motriz, potencia e hidráulico, acumulando un total del 87.24 % del tiempo de duración de las fallas.

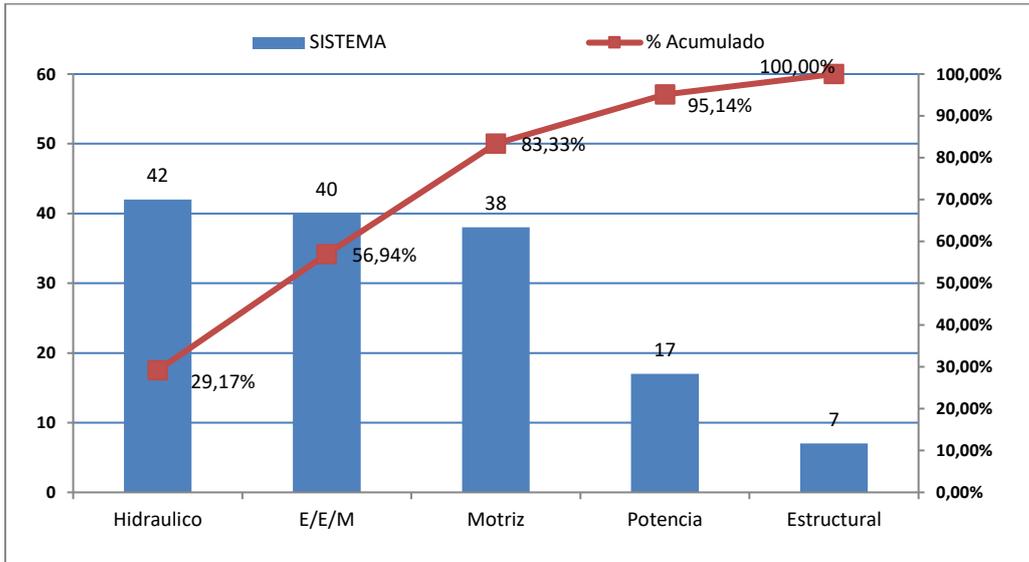
Grafico N°2 Diagrama de Pareto – duración de ocurrencia de Fallas Excavadora N°3



Fuente: Elaboración Propia.

- Se tiene una segunda muestra de estudio conformado por 08 camiones volquete 777G CAT las cuales realizan operaciones de traslado de material removido para la preparación de las instalaciones de la mina SULLIDEN SHAHUINDO SAC , de las cuales según la información suministrada por la empresa se selecciona al Comino Volquete N° 2 , la cual tiene un grado de criticidad importante, con la finalidad de poder aplicar los cálculos del presente informe. Se presenta a través de un diagrama de Pareto el comportamiento de sus 05 sistemas que la conforman , en la cual se tiene un total de 144 paradas ocurridas durante el periodo Enero-Junio 2014, donde el sistema Hidráulico (Bomba / subsistema de distribución , accesorios y actuadores hidráulicos) presentan 42 ocurrencias de fallas lo que representa el 29.17 % del total suscitadas , así mismo entre los sistemas Eléctrico/Electrónico y de Mando, Motriz e Hidráulico se acumulan el mayor número de ocurrencia de fallas con un total de 88.3 % del Total.(Grafico N° 3)

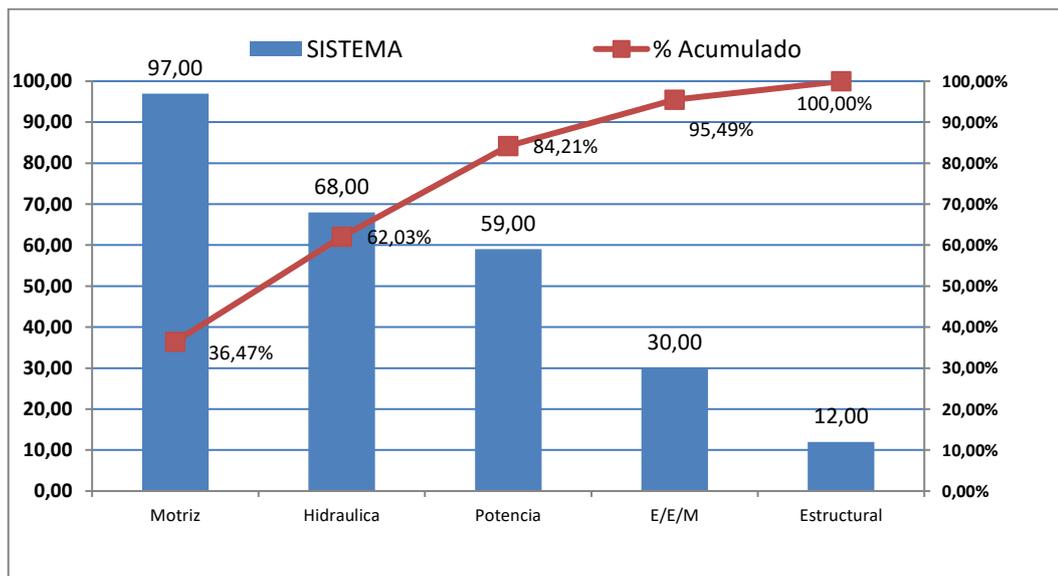
Grafico N°3 Diagrama de Pareto –Ocurrencia de Fallas Camión Volquete N° 2



Fuente: Elaboración Propia.

Con respecto al periodo de duración de las fallas (Grafico N° 4) , se ha tenido un total de 266 horas de duración para las 144 ocurrencia de fallas suscitadas en el periodo inicial de análisis. De lo cual, en el sistema motriz ,se han presentado 97 horas correspondientes a las fallas en este sistema ,lo que representa el 36.47 % del tiempo total. Los tres sistemas de mayor presencia en tiempo de duración de las ocurrencias de fallas son el sistema motriz, potencia e hidráulico, acumulando un total del 84.21 % del tiempo de duración de las fallas.

Grafico N°4 Diagrama de Pareto – duración de ocurrencia de Camión Volquete N°2



Fuente: Elaboración Propia.

4.6.2 REFERENTE A LOS KPI:

- Para la muestra de estudio representada por la Excavadora N° 3 , luego de aplicar el programa de mantenimiento , se tiene una mejora en el Tiempo medio entre fallas (TMEF) desde 12.96 a 44.74 con un porcentaje de mejora del 245.2% , esto significa que luego de aplicar el programa de mantenimiento , se consigue tener fiable la maquina durante 44.74 horas antes de que vuelva a suscitarse nuevamente una falla. Mientras en lo que se refiere al Tiempo medio para reparaciones (TMPR) , este se ha incrementado en 4.6 % , lo que significa que cada falla del tipo correctiva tiene un periodo de corrección de 1.78 horas. Con lo referente al camión volquete N° 2 , luego de aplicar el programa de mantenimiento , se tiene una mejora en el Tiempo medio entre fallas (TMEF) desde 11.81 a 72.92 horas con un porcentaje de mejora del 517.6 % , esto significa que luego de aplicar el programa de mantenimiento , se consigue tener fiable la maquina durante 72.92 antes de que vuelva a suscitarse nuevamente una falla. Mientras en lo que se refiere al Tiempo medio para reparaciones (TMPR) , este se ha incrementado en 10.5 % , lo que significa que cada falla del tipo correctiva tiene un periodo de mantenibilidad de 2.04 horas para corregirla falla..

Cuadro N°69 Comportamiento de los KPI en la muestra de estudio

	EXCAVADORA N°3			VOLQUETE N° 2		
	INICIAL	FINAL	INCREMENTO	INICIAL	FINAL	INCREMENTO
TMEF(HORAS)	12.96	44.74	245.2%	11.81	72.92	517.6%
TMPR(HORAS)	1.70	1.78	4.6%	1.85	2.04	10.5%
TMPF(HORAS)	14.66	46.51	217.3%	13.65	74.96	449.0%

Fuente : Elaboración propia

- Se presenta los resultados para las 08 excavadoras 322D , en las cuales se observa que referente al TMEF , se tiene un valor promedio inicial de 17.76 horas , el cual se ha incrementado a un valor de 77.26 horas , con un porcentaje de la fiabilidad de 335.03 % , mientras que lo referente al TMPR en promedio se ha incrementado desde 1.80 horas a 1.90 horas con un disminución de la mantenibilidad en 5.63 %

Cuadro N°70 Comportamiento de los KPI en las Excavadoras 322D

	EXCAV.N°1	EXCAV.N°2	EXCAV.N°3	EXCAV.N°4	EXCAV.N°5	EXCAV.N°6	EXCAV.N°7	EXCAV.N°8	TOTAL
TMEF(HORAS)-I	20.59	23.61	12.96	15.52	18.09	18.33	14.23	18.75	17.76
TMPR(HORAS)-I	1.88	1.83	1.70	1.57	1.78	1.79	1.77	2.08	1.80
TMPF(HORAS)-I	22.46	25.44	14.66	17.09	19.86	20.12	16.00	20.83	19.56
TMEF(HORAS)-F	58.62	68.80	44.74	61.38	84.00	100.00	90.53	110.00	77.26
TMPR(HORAS)-F	2.05	1.56	1.78	2.03	2.03	1.62	2.16	1.97	1.90
TMPF(HORAS)-F	60.67	70.36	46.51	63.41	86.03	101.62	92.68	111.97	79.16

Fuente : Elaboración propia

- Se presenta los resultados para los 08 camiones volquetes 777G CAT , en las cuales se observa que referente al TMEF , se tiene un valor promedio inicial de 14.96 horas , el cual se ha incrementado a un valor de 100.65 horas , con un porcentaje de la fiabilidad de 572.80 % , mientras que lo referente al TMPR en promedio se ha incrementado desde 1.75 horas a 2.01 horas con un disminución de la mantenibilidad en 15.28 %

Cuadro N°71 Comportamiento de los KPI en los camiones Volquete 777G CAT

	VOLQ.N°1	VOLQ.N°2	VOLQ.N°3	VOLQ.N°4	VOLQ.N°5	VOLQ.N°6	VOLQ.N°7	VOLQ.N°8	TOTAL
TMEF(HORAS)-I	15.32	11.81	12.96	13.03	12.31	17.68	18.82	17.74	14.96
TMPR(HORAS)-I	1.64	1.85	1.71	1.82	1.84	1.66	1.66	1.79	1.75
TMPF(HORAS)-I	16.95	13.65	14.67	14.85	14.15	19.35	20.48	19.53	16.70
TMEF(HORAS)-F	71.74	72.92	106.25	83.33	105.88	105.88	113.33	145.83	100.65
TMPR(HORAS)-F	1.85	2.04	1.91	2.12	1.82	2.21	1.90	2.25	2.01
TMPF(HORAS)-F	73.59	74.96	108.16	85.45	107.71	108.09	115.23	148.08	102.66

Fuente : Elaboración propia

4.6.3 REFERENTE A LOS INDICADORES DE MANTENIMIENTO:

- Para la muestra de estudio representada por la Excavadora N° 3 , luego de aplicar el programa de mantenimiento , se tiene una mejora en la Disponibilidad desde 86.89% a un valor de 96.03 % con un porcentaje de mejora del 10.5% , esto significa que luego de aplicar el programa de mantenimiento , se consigue tener la maquina disponible a un valor superior del 95 % en disponibilidad para realizar las operaciones o tareas que se les asigne. Mientras que con lo que respecta a la confiabilidad esta también se ha incrementado desde 88.42 % hasta un valor de 96.18 % , con un porcentaje de mejora del 8.8 % , valor que le permite una grado de confianza superior al 95% de que la maquina no tenga una falla.
Con lo referente al camión volquete N° 2 , luego de aplicar el programa de mantenimiento, se tiene una mejora en la Disponibilidad desde 84.35% a un valor de 97.20 % con un porcentaje de mejora del 15.2 % , esto significa que luego de aplicar el programa de mantenimiento , se consigue tener la maquina disponible a un valor superior del 95 % en disponibilidad para realizar las operaciones o tareas que se les asigne. Mientras que con lo que respecta a la confiabilidad esta también se ha incrementado desde 86.47 % hasta un valor de 97.28 % , con un porcentaje de mejora del 12.5 % , valor que le permite una grado de confianza superior al 95% de que la maquina no tenga una falla.

Cuadro N° 72 Comportamiento de los Indicadores de Mantenimiento en la muestra de estudio

	EXCAVADORA N°3			VOLQUETE N° 2		
	INICIAL	FINAL	INCREMENTO	INICIAL	FINAL	INCREMENTO
DISPONIBILIDAD	86.89%	96.03%	10.5%	84.35%	97.20%	15.2%
CONFIABILIDAD	88.42%	96.18%	8.8%	86.47%	97.28%	12.5%
MANTENIBILIDAD(Horas)	1.70	1.78	4.6%	1.85	2.04	10.5%
FIABILIDAD(Horas)	12.96	44.74	245.2%	11.81	72.92	517.6%

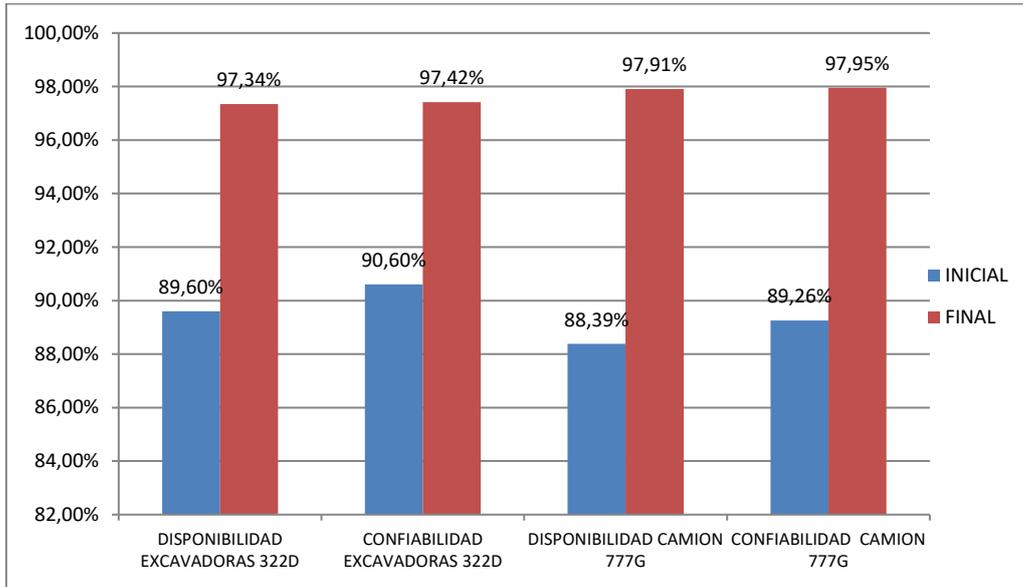
Fuente : Elaboración propia

- En forma global se tienen los resultados para la flota de vehículos pesados analizado, así tenemos: Para la flota de 08 Excavadoras 322 D , luego de aplicar el programa de mantenimiento , se tiene una mejora en la Disponibilidad desde 89.60 % a un valor de 97.34 % con un porcentaje de mejora del 8.64 % , esto significa que luego de aplicar el programa de mantenimiento , se consigue tener la maquina disponible a un valor superior del 95 % en disponibilidad para realizar las operaciones o tareas que se les asigne. Mientras que con lo que respecta a la confiabilidad esta también se ha incrementado desde un valor promedio de 90.60 % hasta un valor de 97.42 % , con un porcentaje de mejora del 7.52 % , valor que le permite una grado de confianza superior al 95% de que la maquina no tenga una falla.

Con lo referente a la flota de camiones volquete 777G CAT , luego de aplicar el programa de mantenimiento, se tiene una mejora en la Disponibilidad desde un valor promedio 88.39% a un valor de 97.91 % con un porcentaje de mejora del 10.77 % , esto significa que luego de aplicar el programa de mantenimiento , se consigue tener la maquina disponible a un valor superior del 95 % en disponibilidad para realizar las operaciones o tareas que se les asigne. Mientras que con lo que respecta a la confiabilidad esta también se ha incrementado desde 89.26 % hasta un valor de 97.95 % , con un porcentaje de mejora del 9.74 % , valor que le permite una grado de confianza superior al 95% de que la maquina no tenga una falla.

De los 4 indicadores analizados el valor de la disponibilidad de los camiones volquete 777G CAT son los que más se incrementado o mejorado.

Grafico N° 5 Comportamiento de la Confiabilidad y Disponibilidad de la población analizada



Fuente : Elaboración propia

4.6.4 REFERENTE A LOS INDICADORES DE DESEMPEÑO:

- Para la muestra de estudio se presentan los resultados de los Indicadores de desempeño , así tenemos para la Excavadora N° 3 , se toma que se ha mejorado el índice de interferencia correctiva en 67.4 % ,esto debido a la reducción del número de fallas y tiempo de duración de estas; así mismo el índice de interferencia preventiva se ha incrementado en 55.6 % ,esto debido al incremento de tareas preventivas y predictivas en el mantenimiento , con lo cual el índice de confiabilidad operacional ha mejorado desde un valor de 86.66 % hasta un valor de 93.23 % , con una mejora porcentual de 7.6 % . Así mismo el índice de costos de mantenimiento se ha reducido en 55.1 % , con lo cual los costos de mantenimiento representan ,luego de aplicar el programa de mantenimiento, en 11 % del total neto obtenido por el alquiler de las máquinas.

De la misma manera así tenemos para el Camión Volquete N° 2 , se ha mejorado el índice de interferencia correctiva en 80.0 % ,esto debido a la reducción del número de fallas y tiempo de duración de estas; así mismo el índice de interferencia preventiva se ha incrementado en 17.2 % ,esto debido al incremento de tareas preventivas y predictivas en el mantenimiento , con lo cual el índice de confiabilidad operacional ha mejorado desde un valor de 84.24 % hasta un valor de 94.34 % , con una mejora porcentual de 12 % . Así mismo el índice de costos de mantenimiento se ha reducido en 67.6 % , con lo cual los costos de mantenimiento representan ,luego de aplicar el programa de mantenimiento, en 9.49 % del total neto obtenido por el alquiler de las máquinas.

Cuadro N° 73 Comportamiento de los Indicadores de Desempeño en la muestra de estudio

	EXCAVADORA N°3			VOLQUETE N° 2		
	INICIAL	FINAL	INCREMENTO	INICIAL	FINAL	INCREMENTO
INDICE DE INTERFERENCIA CORRECTIVA IMC	11.36%	3.70%	67.4%	13.18%	2.64%	80.0%
INDICE DE INTERFERENCIA PREVENTIVA IMP	1.97%	3.07%	55.6%	2.58%	3.02%	17.2%
INDICE DE CONFIABILIDAD OPERACIONAL ICO	86.66%	93.23%	7.6%	84.24%	94.34%	12.0%
INDICE DE COSTO DE MANTENIMIENTO ICM	24.50%	11.00%	55.1%	29.30%	9.49%	67.6%

Fuente : Elaboración propia

- Con referencia a la población analizada en su totalidad los índices de interferencia correctiva e índice de interferencia preventiva se han reducido e incrementado respectivamente , mejorándose el índice de confiabilidad operacional en valores de 94.42 % y 94.05 % para las Excavadoras 322D y los camiones volquete 777G respectivamente.

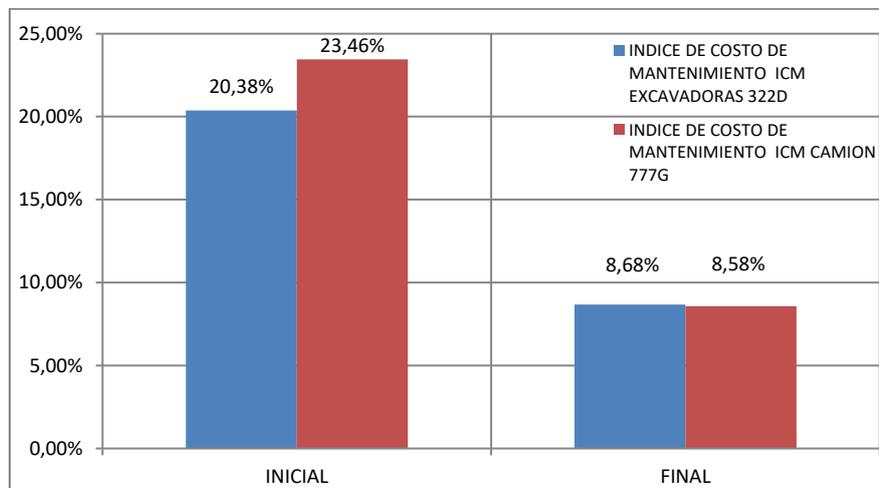
Cuadro N° 74 Comportamiento los Indicadores de Desempeño en la población analizada

	EXCAVADORAS 322D		CAMION VOLQUETE 777G	
	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL
INDICE DE INTERFERENCIA CORRECTIVA IMC	9.20%	2.50%	10.08%	1.98%
INDICE DE INTERFERENCIA PREVENTIVA IMP	2.09%	3.08%	2.70%	3.06%
INDICE DE CONFIABILIDAD OPERACIONAL ICO	88.71%	94.42%	87.22%	94.95%

Fuente : Elaboración propia

- En lo referente al Índice de Costos de Mantenimiento, se tienen en promedio mejoras , alcanzando valores de 8.68 % y 8.58% del total a percibir por alquiler de las maquinas ya sea para las excavadoras 422D y los camiones volquete 777G CAT respectivamente.

Grafico N° 6 Comportamiento del Índice de Costos de Mantenimiento de la población analizada



Fuente : Elaboración propia

4.6.5 REFERENTE A LOS INDICADORES ENERGETICOS:

- Para la muestra de estudio se tiene los siguientes resultados de los Indicadores Energéticos de la muestra de estudio : Con lo referente a la Excavadora N° 3 322D , presenta un indicador E1 de consumo inicial de 6.804 Galones de Diesel B5/hora para una operación de 1,800 horas , luego de aplicar el programa de mantenimiento para un periodo de operación de 1,700 horas se tiene un indicador E1 de consumo final de 6.804 Galones de Diesel B5/hora, con un porcentaje de mejora de 10.77 % , lo que representa un ahorro de 0.733 Galones de Diesel B5/hora. Lo que significa para un periodo de operación de 6 meses un ahorro de combustible de 1,282 Galones de Diesel B5, básicamente esto se obtiene al mejorar las condiciones de mantenimiento preventivo , aplicación de las actividades de mantenimiento predictivo lo que conlleva a reducir el número de fallas desde 139 a 38 ocurrencias de fallas, mejorándose ante todo el desempeño del sistema de potencia (motor, sistema de admisión y escape , lubricación , enfriamiento e inyección) desde 15 a 5 fallas

Con lo referente al Camión Volquete N° 2 777G CAT , presenta un indicador E1 de consumo inicial de 5.416 Galones de Diesel B5/hora para una operación de 1,700 horas , luego de aplicar el programa de mantenimiento para un periodo de operación de 1,750 horas se tiene un indicador E1 de consumo final de 5.101 Galones de Diesel B5/hora, con un porcentaje de mejora de 5.83 % , lo que representa un ahorro de 0.316 Galones de Diesel B5/hora. Lo que significa para un periodo de operación de 6 meses (1725 horas) un ahorro de combustible de 544.93 Galones de Diesel B5, básicamente esto se obtiene al mejorar las condiciones de mantenimiento preventivo , aplicación de las actividades de mantenimiento predictivo lo que conlleva a reducir el número de fallas desde 144 a 24 ocurrencias de fallas, mejorándose ante todo el desempeño del sistema de potencia (motor, sistema de admisión y escape , lubricación , enfriamiento e inyección) desde 17 a 3 fallas.

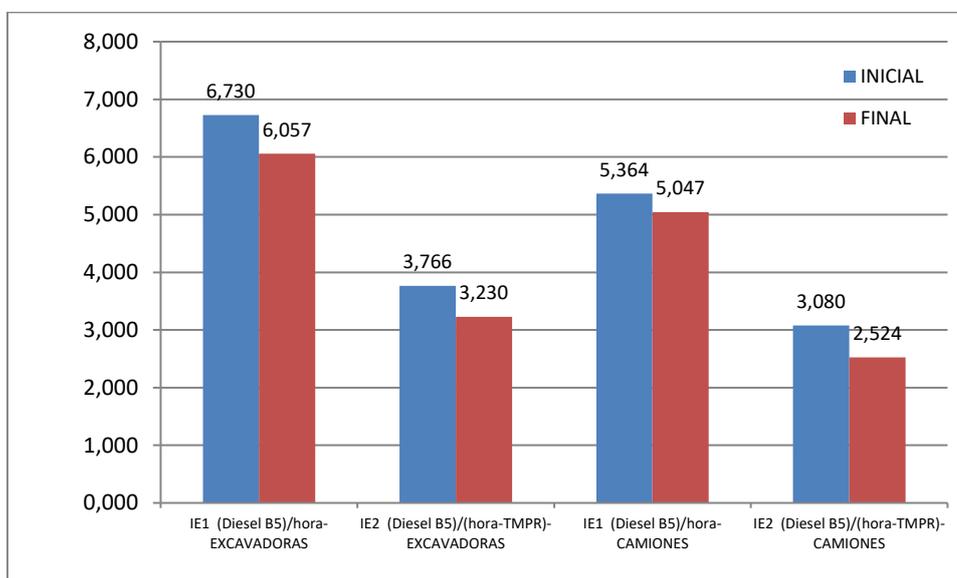
Cuadro N° 75 Comportamiento los Indicadores de Desempeño en la población analizada

	EXCAVADORA N°3			VOLQUETE N° 2		
	INICIAL	FINAL	INCREMENTO	INICIAL	FINAL	INCREMENTO
IE1 (Diesel B5)/hora	6.804	6.072	10.77%	5.416	5.101	5.83%
IE2 (Diesel B5)/(hora-TMPR)	4.008	3.418	14.71%	2.932	2.498	14.80%
IE3 (Diesel B5)/(hora-TMEF)	0.525	0.136	74.15%	0.459	0.070	84.75%
IE4 (Galones de Diesel B5)/(hora-falla)	0.049	0.160	226.40%	0.038	0.213	465.01%
IE5 (Diesel B5)/(hora-HMC)	0.029	0.090	211.98%	0.020	0.104	411.20%

Fuente : Elaboración propia

- Para la población de la flota analizada se presentan los siguientes resultados para los Indicadores Energéticos : Con respecto al IE1 de la Excavadoras 322D, este en promedio se ha reducido desde 6.730 a 6.057 Galón de Diesel B5/hora con una reducción del 10 % , lo cual equivale a un ahorro de 9,148 Galones de Diesel B5 dejados de consumir para un promedio de operación de 1700 horas y las 8 máquinas trabajando. Esto reporta un ahorro de U\$ 35,680.00. Con respecto al IE1 de los camiones Volquete 777G CAT , este en promedio se ha reducido desde 5.364 a 5.047 Galón de Diesel B5/hora con una reducción del 5.92 % , lo cual equivale a un ahorro de 4,319 Galones de Diesel B5 dejados de consumir para un promedio de operación de 1700 horas y las 8 máquinas trabajando. Esto reporta un ahorro de U\$ 16,847.00

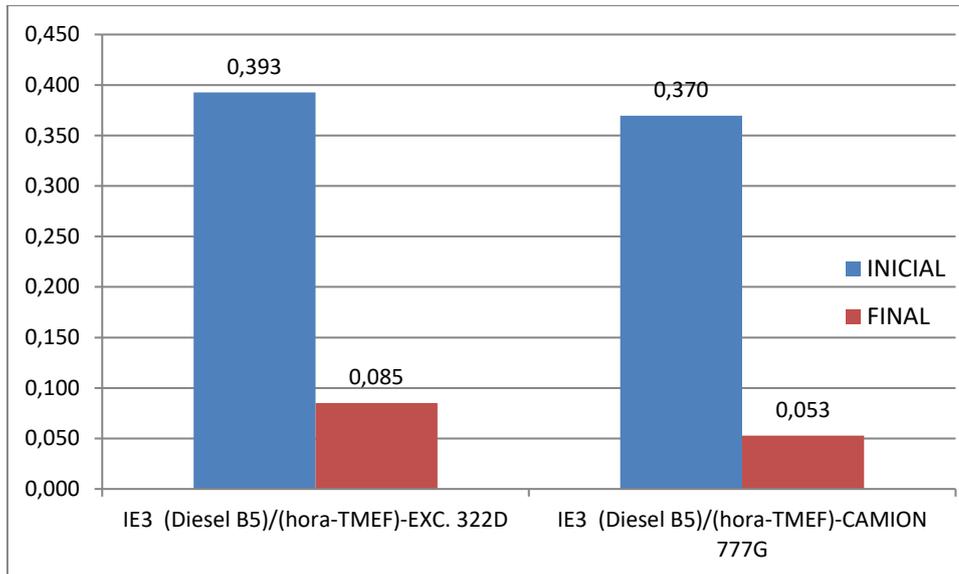
Grafico N° 7 Comportamiento del Índice de Costos de Mantenimiento de la población analizada



Fuente : Elaboración propia

- Para el Indicador IE2 , en las Excavadoras 322D, este en promedio se ha reducido desde 5.364 a 5.047 Galón de Diesel B5/hora-TMPR con una reducción del 14.23 % , mientras que para los camiones 777G CAT se ha reducido desde 3.080 a 2.524 Galón de Diesel B5/hora-TMPR con una reducción de 18.6 %.
- Para el Indicador Energético IE3 en las Excavadoras 322D, este en promedio se ha reducido desde 0.393 a 0.085 galón de Diesel B5/hora-TMEF con una reducción del 78.30 % , mientras que para los camiones 777G CAT se ha reducido desde 0.37 a 0.053 Galón de Diesel B5/hora-TMEF con una reducción de 85.71 %.

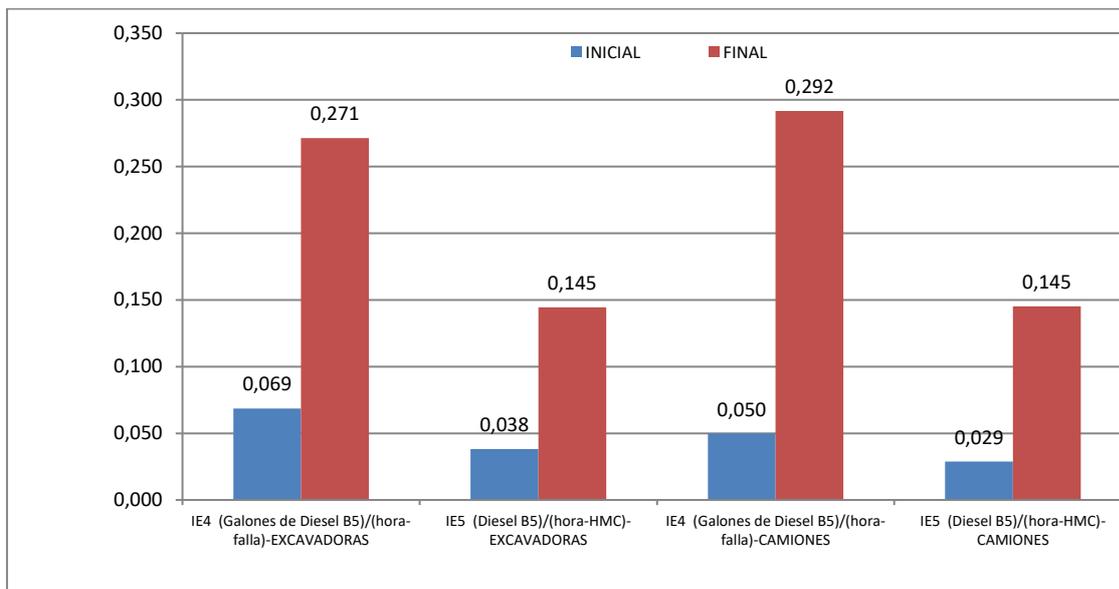
Grafico N° 8 Comportamiento del Indicador Energético N° 3 de la población analizada



Fuente : Elaboración propia

- Para el Indicador Energético IE4 en las Excavadoras 322D, este en promedio se ha incrementado desde 0.069 a 0.271 galón de Diesel B5/hora-falla con un incremento de 295.% , mientras que para los camiones 777G CAT se ha incrementado desde 0.029 a 0.145 Galón de Diesel B5/hora-falla con un incremento de 484 %., esto debido a la reducción del número de fallas desde 815 a 193 ocurrencia de fallas en las excavadoras y desde 890 a 145 en los camiones volquete , con lo cual existe un mayor periodo de utilización de combustible antes de suscitar una nueva falla.
- Para el Indicador Energético IE5 en las Excavadoras 322D, este en promedio se ha incrementado desde 0.038 a 0.145 galón de Diesel B5/hora-HMC con un incremento de 279.% , mientras que para los camiones 777G CAT se ha incrementado desde 0.029 a 0.145 Galón de Diesel B5/hora-HMC con un incremento de 403 %., esto debido a la reducción del número de horas de mantenimiento correctivo desde 1454 hasta 365.5 en las excavadoras y desde 1563.5 hasta 290.5 horas en los camiones 777D .

Grafico N° 9 Comportamiento de los Indicadores Energéticos IE4 y IE5 de la población analizada



Fuente : Elaboración propia

4.6.6 REFERENTE AL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO:

- Con lo que respecta al mantenimiento aplicado a la flota de maquinaria pesada compuesta por 08 Excavadoras 322D y 08 Camiones volquete 777G , se a aplicado un programa de organización del área de mantenimiento que contiene un organigrama de funciones y reportes de los integrantes del área de mantenimiento.
- Se plantea realizar un conjunto de actividades rutinarias que se basan en el mantenimiento productivo tal , con la característica de que los operadores realizan tareas de inspección menores con los técnicos de mantenimiento.
- Se aplica un plan de mantenimiento predictivo basado en la condición, donde se desarrolla por parte de la misma empresa tareas de inspección termografica , desgaste y dureza de componentes de las máquinas , con la característica de que se incluye un técnico exclusivo para realizar tareas de mantenimiento predictivo. Así mismo las actividades de tribología o análisis de aceite los realiza la empresa SGS.
- Se han modificado las ordenes de servicio de mantenimiento preventivo , a la cual se ha incluido un conjunto de actividades preventivas mensuales en el sistema eléctrico/electrónico y de control asi como se realiza una modificación de la aplicación de las ordenes de servicio que permiten una reducción de los costos de mantenimiento preventivo , asi tenemos:

Excavadoras, reducción de costo preventivo por maquina: desde 4,459.40 U\$ hasta 4,248.50 , con un ahorro global de 1,687.20 U\$.

Camiones volquete , reducción de costo preventivo por maquina : desde 5,403.20 U\$ hasta 5,116.40 , con un ahorro global de 2,294.00 U\$.

- En lo referente a los costos totales de mantenimiento se tienen los siguientes resultados:
Excavadoras, reducción de costo de mantenimiento por maquina: desde 21,368.90 U\$ hasta 8,951. , con un ahorro global de 117,843 U\$.
Camiones volquete, reducción de costo preventivo por maquina: desde 23,682 U\$ hasta 8,930 U\$, con un ahorro global de 118,018.00 U\$.

4.6.7 REFERENTE A LOS ANTECEDENTES:

- Con respecto a la Tesis de Carbajal Rios , el presente informe también concuerda que los indicadores energéticos, también llamados ratios energéticos o números específicos; son valores resultantes de la comparación entre unidades de consumo energético y unidades de producción o servicio. Estos indicadores se pueden elaborar de acuerdo a la unidad de análisis, según lo que se dese comparar tras un estudio o análisis.
- A diferencia de la tesis planteada por Diaz Gonzalez , en donde se plantea desarrollar un programa de mantenimiento en función al tiempo de uso , en nuestro informe el programa de mantenimiento se realiza en función a la condición.
- El presente informe de tesis concuerda con la tesis desarrollada por Duelles Ramírez , en donde se demuestra que el estudio de fallas secundarias es de vital importancia ya que no ayuda a implementar nuevos formatos (Revisión de fallas secundarias) y puntos específicos donde aplicar los correctivos necesarios para evitar las paradas no programadas.
- Para el caso de la tesis de Garcés Guerrero se optimizo el plan de mantenimiento con ayuda del AMEF y el diagrama de evaluación de tareas, las tareas van enfocadas a la eliminación de modos de fallos de los equipos críticos y por ende disminuye el mantenimiento correctivo. Optimizar el mantenimiento preventivo redujo el costo total de mantenimiento del año 2009 al 2010 en un 7,3%., mientras que en nuestra tesis en un periodo de un año de evaluación se obtiene un ahorro de 235,857 U\$

CONCLUSIONES
Y
RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Se realizó un diagnóstico a la flota de la Empresa Minera Sulliden Shahuindo SAC compuesta por 08 Excavadoras 322D y 08 Camiones volquete 777G CAT obteniéndose valores globales para toda la muestra de estudio de disponibilidad de 89.60 % , una confiabilidad de 90.60 % para las excavadoras y de estudio de disponibilidad de 88.30% , una confiabilidad de 89.26 % para los camiones volquete.
- Así mismo con respecto a los Indicadores Energéticos El luego de realizado el diagnóstico para el periodo Enero-Junio 2014 , se tiene un valor de consumo de 6.732 Galón de Diesel B5/hora , mientras que para los camiones volquete se tiene un valor de 5.364 Galón de Diesel B5/hora. De la misma manera para las excavadoras se tienen los IE4 y IE5 con valores de 0.069 galón de Diesel B5/hora-falla y 0.038 galón de Diesel B5/hora-HMC , mientras que para los camiones volquete se tienen los indicadores de 0.050 Diesel B5/hora-falla y 0.029 galón de Diesel B5/hora-HMC.
- Se ha elaborado un programa de mantenimiento basado en el mantenimiento Productivo total en donde se han organizado un plan de actividades que incluyen una organización del área de mantenimiento y un plan de actividades rutinarias que las desarrollan los técnicos de mantenimiento con los operadores.
- Se ha programado un plan de mantenimiento predictivo basado en la condición donde se desarrolla por parte de la misma empresa tareas de inspección termográfica , desgaste y dureza de componentes de las máquinas , con la característica de que se incluye un técnico exclusivo para realizar tareas de mantenimiento predictivo. Así mismo las actividades de tribología o análisis de aceite los realiza la empresa SGS.
- Luego de realizar el plan de mantenimiento, se evalúan los Indicadores de Mantenimiento para el periodo Enero-Junio 2015 ,obteniéndose valores globales para toda la muestra de excavadoras con una disponibilidad de 97.34 % , una confiabilidad de 97.42 % con una mejora de Indicadores de 8.64% y 7.52% . Mientras una para las excavadoras una disponibilidad de 97.84% , una confiabilidad de 97.85 % para los camiones volquete.

- Con lo referente a la Excavadora N° 3 322D , presenta un indicador E1 de consumo inicial de 6.804 Galones de Diesel B5/hora para una operación de 1,800 horas , luego de aplicar el programa de mantenimiento para un periodo de operación de 1,700 horas se tiene un indicador E1 de consumo final de 6.804 Galones de Diesel B5/hora, con un porcentaje de mejora de 10.77 % , lo que representa un ahorro de 0.733 Galones de Diesel B5/hora. Lo que significa para un periodo de operación de 6 meses un ahorro de combustible de 1,282 Galones de Diesel B5, básicamente esto se obtiene al mejorar las condiciones de mantenimiento preventivo , aplicación de las actividades de mantenimiento predictivo lo que conlleva a reducir el número de fallas desde 139 a 38 ocurrencias de fallas, mejorándose ante todo el desempeño del sistema de potencia (motor, sistema de admisión y escape , lubricación , enfriamiento e inyección) desde 15 a 5 fallas
- Con lo referente al Camión Volquee N° 2 777G CAT , presenta un indicador E1 de consumo inicial de 5.416 Galones de Diesel B5/hora para una operación de 1,700 horas , luego de aplicar el programa de mantenimiento para un periodo de operación de 1,750 horas se tiene un indicador E1 de consumo final de 5.101 Galones de Diesel B5/hora, con un porcentaje de mejora de 5.83 % , lo que representa un ahorro de 0.316 Galones de Diesel B5/hora. Lo que significa para un periodo de operación de 6 meses (1725 horas) un ahorro de combustible de 544.93 Galones de Diesel B5, básicamente esto se obtiene al mejorar las condiciones de mantenimiento preventivo , aplicación de las actividades de mantenimiento predictivo lo que conlleva a reducir el número de fallas desde 144 a 24 ocurrencias de fallas, mejorándose ante todo el desempeño del sistema de potencia (motor, sistema de admisión y escape , lubricación , enfriamiento e inyección) desde 17 a 3 fallas
- Se demuestra que existe una influencia al aplicar un programa de mantenimiento en la mejora de los Indicadores Energéticos de la Flota de Maquinaria pesada.

RECOMENDACIONES

- Crear el manual de mantenimiento de unidades livianas y documentar los procedimientos de mantenimiento vehicular establecidos.
- Realizar reuniones constantes entre el personal de mantenimiento y el planner de mantenimiento para constatar los avances, y dilucidar cualquier duda respecto al diseño físico del programa de mantenimiento implantar.
- Concientizar e instruir a los conductores de los vehículos acerca del cuidado y el apoyo que deben prestar al departamento de mantenimiento para conservar las unidades en buen estado, así mismo la importancia de seguir los procedimientos establecidos para reportar las fallas.
- Adecuar el proceso de evaluación y selección de personal en base a competencias. Esta recomendación permitirá que el personal ingresante incorpore ciertos comportamientos técnicos y en valores acordes a la cultura organizacional de la empresa y así se logrará que se cumpla de manera efectiva la alternativa de sistema de checklist para el control preventivo diario, semanal y mensual en destino para costa, sierra y selva
- Desarrollar actividades de integración entre la alta gerencia y el personal operativo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

TEXTOS:

- ARQUES PATON, Jose Luis. Ingeniería y gestión del mantenimiento en el sector ferroviario. Editorial Diaz de Santos. 2009. 276 p.
ISBN 8479789166.
- CREUS SOLE, Antonio. Fiabilidad y seguridad: su aplicación en procesos industriales. Editorial Marcombo. 2005. 469 p.
ISBN 8426713629.
- DELGADO ACEVEDO, Aldo Max. Selección y mantenimiento de equipos industriales. Perú. Grupo universitario SAC, 2009. 270 p.
ISBN: 978-9972-2565-7-8.
- DUFFUAA SALIH O, Raouf A., Dixon Campbell John. Sistemas de mantenimiento planeación y control. México: Limusa/Noriega editores, 2009. 420 p.
ISBN: 978-968-18-5918-3.
- GONZALS FERNANDEZ, Javier. Auditoría del mantenimiento e indicadores de gestión. FC Editorial. 2004. 259p.
ISBN 8496169367
- INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE. El análisis de falla en piezas mecánicas. El caso: un resorte fuera de servicio. México: Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 1992. 25 p.
ISBN: 0188-7297.
- LORIENTE LARDIES, Oscar. Gestión del mantenimiento. Colección de test resueltos. Editorial LULU.COM. 2009. 125 p.
ISBN 1471779394.
- SEIJI TSUCHIYA. Mantenimiento de calidad cero defectos a través de la gestión del equipo. España: Productivity Press, 1995. 220 p.
ISBN: 84-87022-16-2.

TESIS CONSULTADAS:

- CARBAJAL RIOS, Hembler. “Diagnóstico energético permitirá mejorar los indicadores energéticos en la empresa pesquera Cantabria S.A. . Tesis para optar el título de Ingeniero en Energía. Universidad Nacional del Santa de Chimbote. Perú. 2012. 122 p.
- GARCES GUERRERO, Maricela. “Optimización del mantenimiento preventivo en función del costo en la empresa Bioalimentar Cia. LTDA.” Tesis para optar el título de Ingeniero de Mantenimiento. Universidad de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2011. 92 p.
- DIAZ GONZALES, Miguel. “Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada de la Empresa equipos técnicos de Colombia ETECOL SAS”. Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico. Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia.2014. 407 p.
- DUELLES Ramírez, Jhon. “Análisis estadístico de fallas secundarias en operaciones de mantenimiento al Bulldozer komatsu D375A - 5 de la Empresa Minera Misky Mayo, Bayobar – PIURA - 2013”. Tesis para optar el título de Ingeniero mecánico. Universidad Cesar Vallejo de Chimbote. Perú. 2013. 102 p.
- HERNANDEZ CRUZ, Víctor. “Plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada en funcionamiento de la zona vial N° 14, dirección general de caminos, Salamá, Baja Verapaz “. Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico. Universidad San Carlos de Guatemala. 2010. 160p.
- VILLALBA SALAZAR, María. “Diseño de un sistema de información para la gestión de mantenimiento de una empresa de servicios energéticos”. Tesis para optar el título de Ingeniero Industrial. Universidad del Oriente. Venezuela. 2011 . 123 p.

LINKS:

- **Jiménez, Alirio.** “Mantenibilidad, confiabilidad, disponibilidad”. España. 2011. [Consulta: 15 de junio del 2015]. Disponible en:
<http://mantenancela.blogspot.com/2011/10/confiabilidad-disponibilidad-y.html>
- **Grajales, Dario.** “ La confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento”. Colombia. 2012. [Consulta: 07 de junio del 2015]. Disponible en:
<file:///C:/Users/USER/Downloads/Dialnet-LaConfiabilidadLaDisponibilidadYLaMantenibilidadDi-4830901.pdf>
- **EMERSON.** “La confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad”. México. 2011. [Consulta: 17 de junio del 2015]. Disponible en:
http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Central%20Web%20Documents/BusSch-OEE_102es.pdf
- **Normas ISO.** “ ISO 50001. Gestión de la Energía”. Colombia. 2013. [Consulta: 27 de junio del 2015]. Disponible en:
http://www.iso.org/iso/iso_50001_energy-es.pdf
- **Turneros, Astros.** “Calculo de los parámetros de mantenimiento”. México. 2014. [Consulta: 22 de junio del 2015]. Disponible en:
<http://www.monografias.com/trabajos93/calculo-parametros-mantenimiento/calculo-parametros-mantenimiento.shtml>
- **Espinoza Fuentes, Fernando.** “Mantenimiento centrado en la confiabilidad”. México. 2013. [Consulta: 20 de junio del 2015]. Disponible en:

<http://campuscurico.otalca.cl/~fespinos/CONCEPCION%20RCM%20MANTENIMIENTO%20CENTRADO%20EN%20CONFIABILIDAD.pdf>

- **Gregorio Perez . “ Volquetes para minería superficial”**. México. 2014. [Consulta: 20 de junio del 2015].Disponible en:
<https://es.scribd.com/doc/61336705/Volquetes-Para-Mineria-Superficial#scribd>
- **MADISA CAT . “ Repuestos y accesorios CAT”**. México. 2014. [Consulta: 10 de julio del 2015].Disponible en:
<http://www.madisa.com/refaccion/anticongelante-cat-deac>
- **DIAZ GGONXZALES : DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LA MAQUINARIA PESADA DE LA EMPRESA EQUIPOS TECNICOS DECOLOMBIA ETECOL Colombia .2010**. [Consulta: 20 de julio del 2015].Disponible en:
[file:///C:/Users/USER/Downloads/6200046D542%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/USER/Downloads/6200046D542%20(2).pdf)

ANEXOS