



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

“Implementación del sistema MineCare para la mejora en la disponibilidad de la flota de acarreo KOMATSU 930E de la Cía. Minera Antamina.”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Industrial

Autores:

ECHEVARRÍA HUAMÁN, Enrique Feliciano
ECHEVARRÍA HUAMÁN, Max Enrique

Asesor:

Ing. Alfonso Vergara Arzapalo

Cajamarca – Perú
2016

APROBACIÓN DE LA TESIS

El asesor y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por los Bachilleres **Enrique Feliciano Echevarría Huamán** y **Max Enrique Echevarría Huamán**, denominada:

**“IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA MINECARE PARA LA MEJORA EN LA
DISPONIBILIDAD DE LA FLOTA DE ACARREO KOMATSU 930E DE LA
CÍA. MINERA ANTAMINA.”**

Ing. Alfonso Vergara Arzapalo
ASESOR

Ing. Luz Marina Zocón Alva
JURADO
Presidente

Ing. Jaime Meza Amador
JURADO

Ing. Shonel Cáceres Pérez
JURADO

DEDICATORIA

A nuestros queridos padres Enrique y Clara por su incansable e incondicional apoyo que nos brindan hasta el día de hoy, por su inagotable voluntad y buen ánimo que nos contagian y llenan de energía para no decaer ni perder el rumbo y enfocarnos en nuestras metas y alcanzar nuestros objetivos personales y profesionales.

A nuestros hermanos mayores, quienes con su ejemplo aportaron experiencia y nos dotaron de valioso aprendizaje, el que nos ha permitido tomar decisiones arriesgadas y avanzar con pasos firmes hacia el éxito.

A nuestros amigos que en su día a día aportan innumerables enseñanzas que poco a poco fortalecen el valor de nuestra amistad.

AGRADECIMIENTO

Agradecer a la sociedad en la que vivimos, porque esta nos demuestra que debemos trabajar en mejorar nuestro nivel social, cultural y económico, en beneficio de la generación del futuro.

Debemos heredar un mejor nivel de vida en todo ámbito.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT	xiii
1 INTRODUCCIÓN	14
1.1 Realidad problemática.	14
1.2 Formulación del problema.	17
1.3 Justificación.....	17
1.4 Limitaciones.	18
1.5 Objetivos.....	18
1.5.1 Objetivo General.	18
1.5.2 Objetivos Específicos.....	18
2 MARCO TEÓRICO	18
2.1 Antecedentes.	18
Internacionales.	18
Nacionales.....	20
2.2 Bases Teóricas.....	21
2.2.1 Tipos de disponibilidad.	21
2.2.1.1 Disponibilidad Física.	21
2.2.1.2 Disponibilidad Mecánica.	21
2.2.2 Sistema MineCare.	22
2.2.3 Importancia de Mantenimiento.	22
2.2.4 Las necesidades del Mantenimiento.	23
2.2.5 Los objetivos del mantenimiento.	24
2.2.6 Diseño del mantenimiento.	24

2.2.6.1	Mantenimiento preventivo.....	25
2.2.6.2	Mantenimiento predictivo (basado en la condición).....	25
2.2.6.3	Mantenimiento correctivo (de falla).....	27
2.2.6.4	Mantenimiento Proactivo.	27
2.2.7	Efectividad operacional.....	28
2.2.7.1	Disponibilidad.....	28
2.2.7.2	Tiempo promedio entre fallas (MTBF Mean Time Between Failure).	29
2.2.7.3	Confiabilidad.....	29
2.2.7.4	Tiempo promedio para la reparación (MTTR Mean Time To Repair).....	29
2.2.8	Herramientas asociadas al mantenimiento.	30
2.2.8.1	Gráfico de barras.	30
2.2.8.2	Gráfica de línea.....	31
2.2.8.3	Gráfica de pastel.	32
2.2.8.4	Gráfica de banda o columna.....	34
2.2.8.5	Diagrama causa-efecto.....	35
2.2.8.6	Curva de Pareto.	36
2.2.9	Metodología de los siete pasos.	38
2.2.9.1	Paso uno: seleccionar el problema.....	38
2.2.9.2	Paso dos: Comprender el impacto del problema.	40
2.2.9.3	Paso tres: Elaborar el cronograma de desarrollo del proyecto.	41
2.2.9.4	Paso cuatro: Analizar las causas del problema.	42
2.2.9.5	Paso cinco: Proponer, seleccionar y programar las soluciones.	43
2.2.9.6	Paso seis: Implementar y verificar resultados.....	44
2.2.9.7	Paso siete: Normalizar y establecer un control.	45
2.3	Definición de términos básicos.	45
3	HIPÓTESIS	47
3.1	Formulación de la hipótesis.	47
3.2	Operacionalización de variables.....	47
4	MATERIAL Y MÉTODOS	48
4.1	Tipo de diseño de investigación.	48

4.2	Material.....	48
4.2.1	Unidad de estudio.....	48
4.2.2	Población.....	48
4.2.3	Muestra.....	50
4.3	Métodos.....	50
4.3.1	Técnicas de recolección de datos y análisis de datos.....	50
4.3.2	Procedimientos.....	51
5	DESARROLLO	52
5.1	Ubicación.....	52
5.1.1	Ubicación geográfica.....	52
5.1.2	Ubicación política.....	53
5.2	Accesibilidad.....	53
5.3	Relieve topográfico.....	54
5.4	Diagnostico Situacional.....	54
5.4.1	Descripción de la empresa.....	54
5.4.2	Perfil organizacional.....	55
5.5	Resultado del diagnóstico.....	58
5.5.1	Paradas no programadas de camiones KOMATSU 930E en el año 2015.	59
5.5.2	Principal sistema con posibilidad de falla crítica.....	60
5.5.2.1	Principales sistemas que componen el motor Cummis QSK78 del camión KOMATSU 930E.....	61
5.5.3	Horas inoperativas por cada sistema del motor Cummis QSK78.....	63
5.5.4	Costo de equipo inoperativo.....	63
5.5.5	Casos críticos presentados antes de la implementación del sistema MineCare.....	64
5.5.6	Horas hombre dedicadas a la descarga manual de datos por camión KOMATSU 930E.....	70
5.6	Aplicación de los siete pasos.....	71
5.6.1	Selección del problema.....	71
5.6.1.1	Reflexión sobre la misión, visión, objetivos y las estrategias de la organización.....	71
5.6.1.2	Descripción y caracterización del proceso que se debe mejorar.	72

5.6.1.3	Identificación de oportunidades de mejora (problemas)	73
5.6.1.4	Selección del problema principal.	74
5.6.2	Comprender el problema y establecer una meta.	74
5.6.2.1	Comprender el impacto del problema.	74
5.6.2.2	Determinar las variables que se tratarán y coleccionar registros.	74
5.6.2.3	Subdividir el problema en estratos para una mejor comprensión.	75
5.6.2.4	Identificar los factores del proceso vinculados al problema... ..	75
5.6.2.5	Decidir la meta que se debe lograr.	75
5.7	Propuesta de mejora.	75
5.7.1	Elaboración del cronograma de desarrollo del proyecto.	75
5.7.2	Analizar las causas del problema.	77
5.7.3	Implementar y verificar resultados.	79
5.7.3.1	Requerimientos de instalación.	79
5.7.3.2	Procedimientos de instalación de sistema Intellmine ® PTX-B/ 7.	82
5.7.4	Normalizar y establecer un control.	94
6	RESULTADOS	95
6.1	Resultados de implementación de mejoras.	95
6.1.1	Análisis de variables antes y después de la mejora.	96
6.2	Análisis económico financiero del proyecto.	100
6.2.1	Costo de implementación de la mejora.	100
6.2.2	Retorno de inversión (aproximado).	102
7	DISCUSIÓN	107
8	CONCLUSIONES	110
	RECOMENDACIONES	111
	REFERENCIAS	112
	LINKOGRAFIA	113
	ANEXOS	115

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla n.º 1. Datos para la elaboración de gráficas.....	30
Tabla n.º 2. Datos para la elaboración de grafica de línea.	32
Tabla n.º 3. Datos para elaboración de la gráfica de pastel.....	33
Tabla n.º 4. Clasificación de problemas o defectos.....	37
Tabla n.º 5. Análisis para detectar los defectos más significativos encontrados.....	37
Tabla n.º 6. Operacionalización de variables.	47
Tabla n.º 7. Población de camiones KOMATSU 930E.....	49
Tabla n.º 8. Muestra de camiones KOMATSU 930E.....	50
Tabla n.º 9. Se muestran las coordenadas UTM para el área de la mina.	52
Tabla n.º 10. Se muestra los cuatro tramos de la ruta Lima – Antamina.....	54
Tabla n.º 11. Porcentaje del tiempo de paradas año 2015.	59
Tabla n.º 12. La siguiente tabla muestra los sistemas.	61
Tabla n.º 13. Paradas por motor de camiones KOMATSU 930E año 2015.....	62
Tabla n.º 14. Horas inoperativas por paradas no programadas en motor Cummis.....	63
Tabla n.º 15. Costo de paradas de camiones KOMATSU 930E.....	63
Tabla n.º 16. Procedimiento para cambio de inyector.....	95
Tabla n.º 17. Disponibilidad del año 2015.	97
Tabla n.º 18. Disponibilidad del año 2016 hasta septiembre.	98
Tabla n.º 19. Costo de implementación del sistema MineCare en la muestra conformada por diez camiones KOMATSU 930E.....	101
Tabla n.º 20. Costo mensual por descarga manual de data de los camiones KOMATSU 930E.....	102
Tabla n.º 21. Costo mensual por los diez camiones KOMATSU 930E detenidos.....	103
Tabla n.º 22. Resumen de inversión en la implementación del sistema MineCare y ahorro mensual por gastos evitados en seis meses.	104
Tabla n.º 23 Proyección a dos años de los costos para la flota experimental de 10 camiones.	105
Tabla n.º 24 Proyección de costos para la flota de 80 camiones en el periodo de dos años.	105

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura n.º 1. Camión HT130 - KOMATSU 930E.....	16
Figura n.º 2. Disponibilidad del total de la flota KOMATSU 930E 2014.....	16
Figura n.º 3. Disponibilidad total de la flota KOMATSU 930E 2015.....	16
Figura n.º 4. Tendencias de Mantenimiento.	23
Figura n.º 5. Estrategias de Mantenimiento.....	25
Figura n.º 6. Mantenimiento basado en la condición.....	26
Figura n.º 7. Monitoreo de condición.	27
Figura n.º 8. Mantenimiento Proactivo.....	28
Figura n.º 9. Representación de gráfica de barras.....	31
Figura n.º 10. Representación de gráfica de línea.	32
Figura n.º 11. Representación de grafica de pastel.	33
Figura n.º 12. Representación de gráfica de banda o columna.	34
Figura n.º 13. Representación de diagrama de Ishikawa o espina de pescado.....	35
Figura n.º 14. Representación de gráfica de Pareto.	38
Figura n.º 15. Representación de gráfica de los siete pasos de Kaizen.....	38
Figura n.º 16. Ubicación de la minera Antamina en la región Áncash.	52
Figura n.º 17. Organigrama general empresa Antamina Perú SAC.	57
Figura n.º 18. Organigrama gerencia de mantenimiento Antamina Perú SAC.....	58
Figura n.º 19. Disponibilidad total flota KOMATSU 930E – 2015.	59
Figura n.º 20. Comparación de paradas de camiones KOMATSU 930E 2015.	60
Figura n.º 21. Motor Cummis QSK78.	60
Figura n.º 22. El siguiente gráfico muestra la relación: paradas por motor y otros sistemas durante el año 2015.....	61
Figura n.º 23. Porcentaje del número de paradas por sistema.....	62
Figura n.º 24. Toma aérea de la ubicación del tajo norte con referencia a las coordenadas UTM 273753.95 E 8945082.25 S.....	65
Figura n.º 25. Fragmento de reporte semanal Cummis Perú, 28 al 03/08.	66
Figura n.º 26. Fragmento de reporte semanal Cummis Perú, 28 al 03/08.	66
Figura n.º 27. Presupuesto de reparación emitido por Cummis Perú.....	67
Figura n.º 28. Varilla de empuje de inyector.....	68
Figura n.º 29. Inserto guiador de varilla de inyector.	68
Figura n.º 30. Reporte de falla preliminar.	69

Figura n.º 31. Diagrama de operaciones para descarga de data del cada camión.....	70
Figura n.º 32. Portada del libro de Mejora continua de los procesos.	71
Figura n.º 33. Disponibilidad mensual de los diez camiones KOMATSU 930E.	72
Figura n.º 34. Horas inoperativas de la flota KOMATSU 930E en el año 2015.....	73
Figura n.º 35. Gantt de implementación MineCare en la flota KOMATSU 930E.....	76
Figura n.º 36. Diagrama de Ishikawa con las causas raíz del problema principal.....	78
Figura n.º 37. Colocación de antena.....	80
Figura n.º 38. Altura estimada para la colocación de antena.....	81
Figura n.º 39. Posición de bases a soldar en camión KOMATSU 930E.....	81
Figura n.º 40. Plancha metálica que será fabricada.....	82
Figura n.º 41. Computador fijado en parte superior de cabina.	83
Figura n.º 42. Recorrido de cables Ethernet y GPS.	84
Figura n.º 43. Recorrido de cables Ethernet y GPS.	84
Figura n.º 44. Recorrido de cables Ethernet y GPS.	85
Figura n.º 45. Recorrido de cables Ethernet y GPS.	85
Figura n.º 46. Punto donde se realizara el agujero.	86
Figura n.º 47. Recorrido final de cableado Ethernet y GPS.	87
Figura n.º 48. Conexión en cascada de GSP's.	88
Figura n.º 49. Colocación de soporte de antena.	89
Figura n.º 50. Colocación de soporte de antena.	90
Figura n.º 51. Colocación de soporte de antena.	90
Figura n.º 52. Conexionado de interfaces.	91
Figura n.º 53. Conexionado de interfaces.	91
Figura n.º 54. Conexionado de interfaces.	92
Figura n.º 55. Conexionado de interfaces.	92
Figura n.º 56. Diagrama de Gantt con las tareas concluidas exitosamente.	93
Figura n.º 57. Lectura de alta temperatura reportada por el sistema MineCare.....	95
Figura n.º 58. Disponibilidad mensual de los diez camiones KOMATSU 930E	96
Figura n.º 59. Disponibilidad mensual hasta septiembre del año 2016.	98
Figura n.º 60. Comparación del MTBF de los años 2014, 2015 y 2016.	99
Figura n.º 61. Comparación de MTTR 2014, 2015 y 2016.....	100
Figura n.º 62. Opciones del servicio mensual del sistema MineCare.....	101
Figura n.º 63. Comparación de los semestres 2015 y 2016 para las paradas no programadas.....	103

RESUMEN

La disponibilidad mecánica de los activos en un porcentaje óptimo es uno de los principales objetivos que debe verse reflejado en los indicadores de una empresa de producción, como es el caso de las que se dedican al rubro de la minería.

El objetivo de esta tesis es demostrar de forma sencilla, cómo la implementación del sistema MineCare, software creado por Modular Mining Systems, permite identificar en tiempo real las causas que originarían paradas no programadas, entendamos por "parada no programada" como una detención imprevista a causa de una falla mecánica en el equipo, en la flota de camiones KOMATSU 930E en el área de acarreo de la Cía. Minera Antamina y de esta manera realizar la mejora en el plan de mantenimiento para disminuir el número de paradas no programadas, una mejora en la disponibilidad mecánica de la flota de camiones.

Mediante la revisión de los reportes de detenciones registrado en la plataforma DISPATCH se obtuvo información de fallas críticas que generan paradas no programadas en la flota de camiones; para cada falla identificada se procedió al desarrollo de un plan que permitiera integrar el sistema MineCare para detectar la falla y anticipar, que esta comprometa a los componentes con los que interactúa.

El sistema MineCare permitirá recolectar los datos de funcionamiento de los camiones en tiempo real y de forma remota, permitiendo así un mejor y mayor control, facilitando el diagnóstico temprano de fallas que podrían originar daños graves en el equipo.

Los resultados obtenidos, luego de la implementación de este sistema son los siguientes:

- ✓ Se realizó la implementación del sistema MineCare en la flota experimental conformada por 10 camiones KOMATSU 930E con resultados satisfactorios.
- ✓ Se consiguió un importante incremento en la disponibilidad de la flota de camiones KOMATSU 930E, que al término del seguimiento realizado para este proyecto había alcanzado una Disponibilidad de 86.01%, superando a la disponibilidad objetivo establecida por el área de operaciones en un 1.47%.
- ✓ Se incrementó el tiempo promedio entre fallas (MTBF) en 25.17% y se redujo el tiempo promedio para la reparación (MTTR) en un 28.13%, comparando los años 2015 y 2016.
- ✓ Se redujo el porcentaje de horas por paradas no programadas en un 50.06%.
- ✓ Se consiguió disminuir en su totalidad las horas hombre empleadas en la descarga de datos del Módulo de Control Electrónico, solo a casos de emergencia.

ABSTRACT

The mechanical availability of the assets in an optimal percentage is one of the main objectives that must be reflected in the indicators of a production company, as is the case of those that are dedicated to mining.

The objective of this thesis is to demonstrate in a simple way how the implementation of the MineCare system, software created by Modular Mining Systems, allows to identify in real time the causes that would cause unscheduled stops, to be understood as "unforeseen stop" Cause of a mechanical failure in the equipment, in the fleet of trucks KOMATSU 930E in the area of carry of the Mining Company Antamina and in this way to make the improvement in the maintenance plan to reduce the number of unscheduled stops, an improvement in the availability of the truck fleet.

By reviewing the detention reports registered on the DISPATCH platform, information was obtained on critical faults that generate unplanned shutdowns in the truck fleet; For each identified fault, a plan was developed that would allow integrating the MineCare system to detect the fault and to anticipate, that this compromises the components with which it interacts.

The MineCare system will allow you to collect truck data in real time and remotely, allowing better and greater control, facilitating the early diagnosis of faults that could cause serious damage to the equipment.

The results obtained, after the implementation of this system are the following:

- ✓ Implementation of the MineCare system in the experimental fleet made up of 10 trucks KOMATSU 930E.
- ✓ There was a significant increase in the availability of the truck fleet KOMATSU 930E, which at the end of the monitoring carried out for this project had reached an availability of 86.01%, exceeding the target availability of 1.4%, which is established by the Area of operations.
- ✓ The average time between fails (MTBF) increased by 25.17% on average from 2015 to 2016 and the average time for repair (MTTR) was reduced by an average of 28.13%, comparing the years 2015 and 2016.
- ✓ The percentage of hours for unscheduled stops was reduced by 50.06%.
- ✓ It was possible to reduce the man hours used in the download of data of the Electronic Control Module, only in cases of emergency

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Realidad problemática.

En la industria minera a tajo abierto, una de las principales actividades es el acarreo que consiste en movimiento de grandes volúmenes de material para poder extraer los minerales que se encuentran en este.

Para realizar esta actividad se emplea maquinaria pesada de grandes dimensiones, las cuales necesitan tener una adecuada gestión de mantenimiento y poder llegar a la cuota de producción planificada por el área de operaciones de la empresa una parte del conjunto de estas maquinarias, son los camiones gigantes, estos son parte primordial del acarreo en las operaciones mineras, es por ello que muchas veces el mantenimiento correctivo de estos equipos se realiza en el campo. En la actualidad los costos de mantenimiento representan un monto significativo de los gastos operacionales en las empresas mineras, lo cual hace que la gestión del mantenimiento sea un determinante importante de la eficiencia y de la competitividad de dichas empresas.

La mejora continua de los procesos, ayuda a optimizar el rendimiento de las operaciones, estas mejoras se realizan a través de la implementación de nuevos procedimientos o sistemas en los procesos de producción. La empresa KOMATSU-MITSUI MAQUINARIAS PERU S.A. es la representante de la marca KOMATSU en el Perú, esta brinda servicio de venta de maquinaria, venta de repuestos, servicio de mantenimiento y reparación.

Actualmente, KOMATSU-MITSUI MAQUINARIAS PERU y la Cía. Minera Antamina tienen un contrato de mantenimiento en la modalidad MARC por sus siglas en inglés (Contrato de Reparación y Mantenimiento).

ANTAMINA cuenta con una flota de 80 camiones KOMATSU modelo 930E, por lo que la empresa KOMATSU-MITSUI MAQUINARIAS PERU S.A. pretende ofrecer la máxima disponibilidad de estos equipos, para minimizar los tiempos por parada no programada (NP) y maximizar la eficiencia en los mantenimientos programados (PM) para que la productividad de la empresa no se vea afectada.

En la Mina del Cañón de Bingham ubicada en Utah, Estados Unidos desde el año 2006 se experimentó una baja significativa en la disponibilidad de la flota de acarreo, debido a esto recurrieron a expertos que pudieran determinar las razones y hallar la mejor solución para dicho problema, fue entonces que luego de los estudios realizados, el equipo de expertos y de mantenimiento aseguraron que dadas las condiciones geográficas de su territorio el mejor sistema era MineCare, el cual fue implementado y se demostró la mejora en la disponibilidad de la flota de acarreo de dicha mina. Conocido este antecedente y experimentando una situación problemática similar, se optó por realizar las pruebas necesarias para su implementación en la flota de acarreo de la Cía. Minera Antamina.

Mediante un informe interno de la empresa (segundo semestre 2015) se señaló que desde la llegada de los camiones KOMATSU 930E las horas por paradas no programadas de dicha flota que implican reparaciones por fallas mecánicas críticas que por lo general requieren el internamiento del camión por hasta 24 horas, se han incrementado notablemente, sobrepasando las horas designadas para este fin, considerando que del 100% de horas por mantenimiento, únicamente el 20% debe corresponder a las paradas no programadas, lo que ha impactado considerablemente en la disponibilidad mecánica de los camiones, disminuyéndola hasta ubicarla por debajo de la disponibilidad objetivo que es establecida por el área de operaciones en un promedio de 84.8%, como se ve reflejado en las figuras n.º 2 y n.º 3 que muestran la disponibilidad (disponibilidad real - azul) alcanzada en el año 2014, año en que los camiones KOMATSU 930E entraron en funcionamiento, como consecuencia de esta baja disponibilidad mecánica la producción se vio afectada, convirtiéndose en una situación preocupante para la empresa, pues de no abordarse este problema, puede existir una penalización por parte del cliente, razón por la cual se hace necesario realizar una mejora en el programa de mantenimiento y poder cumplir con la disponibilidad programada (Disponibilidad Objetivo - rojo) por nuestro cliente.

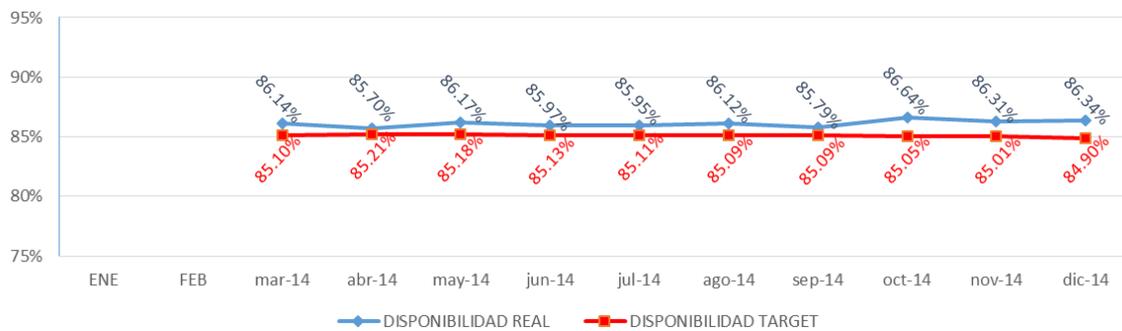
Por ello, este estudio pretende indagar sobre el impacto de la implementación de un sistema como parte de un plan de mejora en el programa de mantenimiento para la flota de camiones KOMATSU 930E de la compañía minera Antamina.

Figura n.º 1. Camión HT130 - KOMATSU 930E.



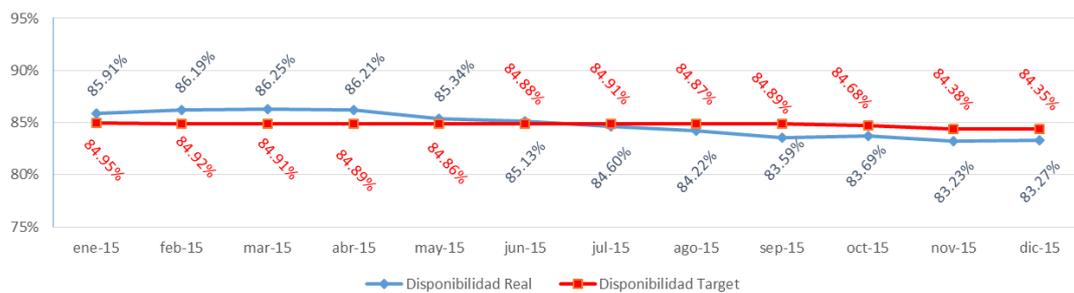
Fuente: Elaboración propia.

Figura n.º 2. Disponibilidad del total de la flota KOMATSU 930E 2014.



Fuente: Elaboración propia.

Figura n.º 3. Disponibilidad total de la flota KOMATSU 930E 2015.



Fuente: Elaboración propia.

1.2 Formulación del problema.

¿Cuál es el impacto de la implementación del sistema de monitoreo MineCare como parte de un plan de mejora en el Programa de Mantenimiento para la flota de acarreo conformada por los camiones KOMATSU 930E de la Cía. Minera Antamina?

1.3 Justificación.

• Justificación teórica.

La implementación del sistema MineCare en el proceso de mantenimiento, servirá de referencia para otros proyectos de intereses similares que se planteen estudiantes de las carreras de ingeniería y otras que consideren este trabajo como referencia para partir hacia adelante en futuros proyectos de investigación.

• Justificación aplicativa o práctica.

Según observaciones realizadas por el equipo de mantenimiento de la Cía. Minera Antamina se han identificado oportunidades de mejora necesarias con la finalidad de lograr una importante disminución del tiempo por paradas no programadas, por tal motivo se tiene que implementar estrategias de mejora que contribuyan a este logro que se reflejará con el incremento de la disponibilidad.

• Justificación valorativa.

Con la realización de este proyecto, mediante el uso correcto de las herramientas tecnológicas y elementos que nos provee la Ingeniería Industrial, se ideó la implementación del sistema MineCare y se consiguió optimizar el programa de mantenimiento cumpliendo efectivamente con los objetivos establecidos, de esta manera el presente trabajo muestra como el sistema se está implementando de forma satisfactoria en la flota de camiones KOMATSU 930E y se planteará para los futuros equipos pesados que se incorporen a la flota.

• Justificación académica.

En el presente trabajo tendremos la oportunidad de mostrar y aprovechar los conocimientos y experiencia adquiridos durante nuestra formación profesional en la carrera de ingeniería Industrial, del mismo modo este trabajo servirá de orientación para el desarrollo de nuevos estudios de mejora continua.

1.4 Limitaciones.

En la realización del presente proyecto, no tuvimos mayores limitaciones que el tiempo para su realización, en su lugar se contó con todas las facilidades de data e información, dado que el puesto de Ingeniero de Confiabilidad de la flota de Camiones de acarreo, permitió evaluar y determinar la implementación del Sistema MineCare.

1.5 Objetivos.

1.5.1 Objetivo General.

Determinar el impacto de la implementación del sistema MineCare para la mejora en la disponibilidad de la flota de acarreo KOMATSU 930E de la Cía. Minera Antamina.

1.5.2 Objetivos Específicos.

- Determinar la influencia de la detección de eventos en el tiempo de operación (disponibilidad mecánica) de la flota de camiones KOMATSU 930E.
- Determinar la influencia de la detección de eventos en el tiempo promedio entre fallas (MTBF) en la flota de camiones KOMATSU 930E.
- Determinar la el impacto de la detección de eventos en el tiempo promedio para la reparación (MTTR).

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes.

Internacionales.

Para Piedra Paladines (2005), en su tesis *Gerencia estratégica de mantenimiento de la empresa plásticos del litoral – plastlit*, las evoluciones tecnológicas en las técnicas de control en mantenimiento han permitido incrementar significativamente el aprendizaje sobre el comportamiento degenerativo interno de las máquinas o equipos. Además, señala que todos los problemas de mantenimiento se pueden estudiar y diagnosticar combinando estrategias de control en el mantenimiento tales como: mantenimiento predictivo, mantenimiento preventivo, mantenimiento

productivo total, mantenimiento centrado en la confiabilidad, sistema de gestión de calidad, análisis de causa raíz, estrategia de las cinco "s", estrategia en el proceso de Deming y dirección por políticas, para poder dar solución a los problemas.

Un aspecto importante, para tener en cuenta durante el desarrollo de una estrategia de mantenimiento productivo total (TPM), y que la autora señala, es que, mediante la correcta información obtenida por el personal de campo se puede realizar un mejor control para una adecuada gestión de mantenimiento para poder tener procedimientos claros y bien definidos. Esto conlleva a que el personal realice una labor de manera consistente respetando los estándares definidos y obteniendo muy buenos resultados. En tal sentido, se hace notar la importancia de tomar correctamente los datos respecto al tema de estudio, es decir, a los tiempos de mantenimiento.

De esta tesis se tomaron en cuenta los métodos y herramientas de las diferentes estrategias de mantenimiento.

Rodríguez L. (2002), en su tesis *Estudio del mantenimiento de los equipos críticos de un sistema de deshidratación de gas natural*, tuvo como objetivo fundamental establecer los requerimientos de mantenimiento de los sistemas de deshidratación de la planta de extracción de gas natural San Joaquín perteneciente a la empresa PDVSA-GAS ubicada en Anaco, estado de Anzoátegui Venezuela, utilizando la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad (MCC), método que permite formular estrategias de mantenimiento a fin de mejorar la confiabilidad buscando minimizar la ocurrencia de fallas, como resultado de esta investigación el autor señala que para tener éxito al emplear la confiabilidad como parámetro de evaluación de la gestión de mantenimiento depende de la veracidad de la base de datos. Una alta disponibilidad en los equipos no garantiza que el sistema no va fallar y que la clave del éxito en las metodologías basadas en la confiabilidad operacional, radica en involucrar al personal de alta experiencia como participante del grupo de trabajo.

De la tesis de Rodríguez L. se consideraron algunas definiciones básicas del mantenimiento.

Morales Flores (2012), en su tesis *Implantación de un programa de mantenimiento productivo total (TPM) al taller automotriz del I. municipio de Riobamba (IMR)*, al elaborar un plan de mantenimiento autónomo basado en la metodología del TPM en esta municipalidad que cuenta con una flota de 116 unidades entre maquinaria pesada y equipo liviano, el objetivo es alargar la vida útil de los equipos reduciendo los defectos en la calidad del servicio y averías, mediante la mejora continua, el autor en su proyecto busca optimizar los trabajos de mantenimiento implementando: un sistema de las 5S, elaborando un plan de mantenimiento preventivo y complementarlo con mejoras en seguridad, higiene industrial y cuidado medio ambiental.

Nacionales.

Da Costa Burga (2010) en su tesis titulada *Aplicación de mantenimiento centrado en la confiabilidad a motores a gas de dos tiempos en pozos de alta producción*, el autor tiene como objetivo disminuir las fallas en los motores de la marca AJAX de la empresa Petrobras Energía Perú S.A. ubicada en la zona del lote X distrito Del Alto departamento de Piura - Perú, incrementando la disponibilidad y confiabilidad mediante el uso de la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad (MCC). Realizando una adecuada identificación de los problemas que evitan el máximo desempeño operacional de los motores de dos tiempos, se logró optimizar el tiempo de vida útil de los motores, se optimizó los planes de mantenimiento, se eliminaron fallas crónicas del mantenimiento y se disminuyeron paradas no programadas de los motores.

De la tesis de Costa B. se consideró la evolución del mantenimiento para realizar un plan de mejora continua.

Eda Álvarez (2013), en su tesis titulada, *Análisis de fallas de una máquina extrusora de electrodos*, estudió el origen en los tiempos por paradas no programadas en la empresa Soldexa S.A. (dedicada a la elaboración de electrodos de corte y soldadura bajo la licencia de Oerlikon), con el objetivo de minimizar los mismos. Presentó planes de acción que permiten obtener resultados en un corto plazo. Para el autor, mediante un adecuado análisis de fallas, debidamente estructurado, puede ser implementado con éxito acciones en cada proceso productivo de planta, es por ello que, el autor para determinar el origen de los tiempos por paradas no programadas empleó el

método de análisis de fallas, el cual presenta una serie de pasos detallados que nos facilitan encontrar las causas de los problemas. Para que este análisis funcione se necesita información minuciosa acerca de las paradas no programadas; el cual se obtiene a través de entrevistas a los supervisores y técnicos que están relacionados directamente con el proceso de prensado. Como resultado se obtuvo las causas de una serie de fallas relacionadas a las paradas no programadas entre ellas tenemos: fallas por factores humanos, fallas por factores técnicos y fallas por factores organizacionales. Finalmente, para cada falla, el autor desarrolló un plan de acción que permitió neutralizar la causa del problema. Este tipo de análisis nos presenta de forma diferente las fallas, para así poder llegar a una mejor solución.

2.2 Bases Teóricas.

2.2.1 Tipos de disponibilidad.

En este punto haremos mención conceptual de los tipos de disponibilidad física y mecánica que existen en el ámbito minero, para dar a conocer que en adelante, cuando se emplee el término "disponibilidad", se estará haciendo referencia únicamente a la "disponibilidad mecánica".

2.2.1.1 Disponibilidad Física.

La disponibilidad física se resume en la presencia de maquinaria operativa y en buen estado mecánico, sin personal calificado presente para su operación, motivo por el cual esta maquinaria dejará de estar disponible y no formará parte de la producción.

2.2.1.2 Disponibilidad Mecánica.

En cuanto a la disponibilidad mecánica podemos decir que consiste en la inoperatividad de la maquinaria a causa de fallas mecánicas que obligan a realizar paradas por periodos prolongados para su reparación, periodos de tiempo en los que esta maquinaria no forma parte de la producción y por lo tanto tiene menor disponibilidad.

2.2.2 Sistema MineCare.

Fundada en el año 1979, Modular Mining Systems, fue pionera desde el en año 2004, en la instauración de la gestión de mantenimiento en tiempo real para la industria de la minería.

Desde su creación, el sistema MineCare ha continuado mejorando debido a las exigencias de la industria, que reconoció la importancia de la disposición de la información en tiempo real como datos para predicción y datos para análisis de fallas.

El sistema MineCare confiere al usuario el poder para incrementar la productividad y la disponibilidad de sus equipos, al mismo tiempo la posibilidad de reducir costos de mantenimiento a través de elementos como el monitoreo remoto de la condición del equipo, el manejo de eventos de alarmas, el estudio de tendencias, el tiempo de aprovechamiento de cada componente, el análisis de las causas de base y las herramientas de generación de informes basados en datos históricos que aportan al equipo de mantenimiento el poder para realizar una labor segura y confiable.

MineCare brinda el acceso a todas las operaciones principales, el sistema estándar está completamente integrado al sistema DISPATCH, lo que permite aprovechar la información de operaciones para alcanzar las metas de mantenimiento. (Modular, 2015)

2.2.3 Importancia de Mantenimiento.

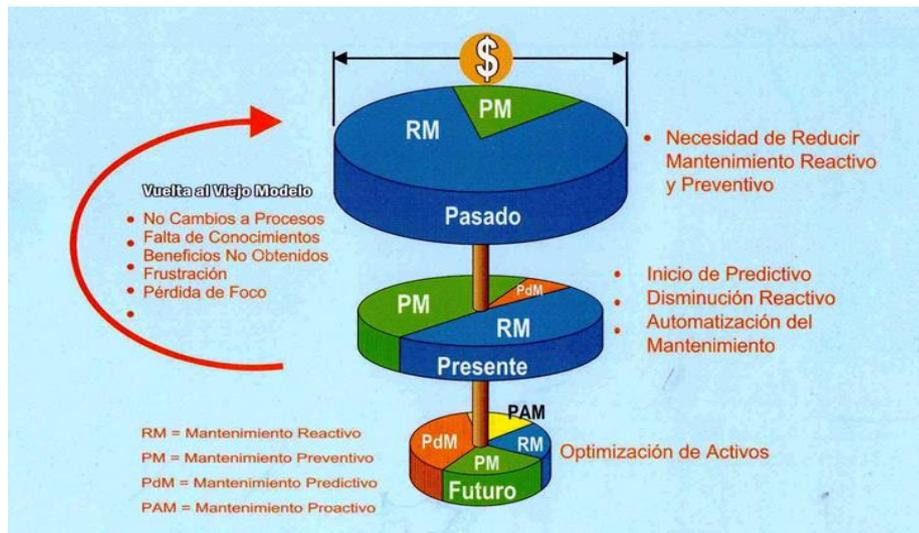
Según Coetzee (s.f) Una adecuada gestión de la función de mantenimiento crea y mantiene un alto nivel de disponibilidad, confiabilidad y operatividad de los equipos. Estos altos niveles se trasladan directamente a la capacidad de producción, productividad y así a los beneficios de la empresa.

El mantenimiento es visto como un centro de costo. Es esencialmente verdadero que el mantenimiento es una función de apoyo, que opera a cierto costo, no tan fácilmente controlado.

Algo que frecuentemente no es apreciado es que el mantenimiento tiene un impacto significativo en los beneficios de la empresa a través de la disponibilidad, la confiabilidad y la operatividad del equipo.

Esto inevitablemente conduce a completar un cambio en el enfoque de gestión del mantenimiento si lo entendemos adecuadamente. En la figura n.º 4 nos muestra las tendencias de mantenimiento.

Figura n.º 4. Tendencias de Mantenimiento.



Fuente: (IPEMAN Instituto Peruano de Mantenimiento, 2016)

2.2.4 Las necesidades del Mantenimiento.

Cualquier tipo de equipo está expuesto a la falla, debe existir alguna función o mecanismo que reemplace o repare tales unidades defectuosas de tal manera que el proceso de producción pueda ser restaurado.

Esta función se llama Mantenimiento. Es una de las disciplinas que ha crecido rápidamente en el mundo. Las razones de esto son diversas:

1. Aumento de la sofisticación del equipo de producción. La revolución industrial ha iniciado una industria secundaria que esta engranada al mantenimiento de las máquinas y equipos. Luego de la segunda guerra mundial y de la invención del transistor, una nueva revolución, la revolución de la información, ha comenzado una avalancha creciente en la complejidad de la tecnología.
2. La necesidad de un elevado retorno de la inversión. Uno de los efectos laterales de la revolución de la información es que hay un aumento en la presión por una elevada productividad. Esto conduce a una mayor mecanización y un incremento en el tamaño de las máquinas. La investigación en los equipos de producción está aumentando con el tiempo. Por motivo de las ganancias, esto conduce a un aumento en los niveles de disponibilidad requerido por las compañías.

3. El alto costo de Mantenimiento. El costo de Mantenimiento como un porcentaje de los costos de producción está escalando a un ritmo alarmante como resultado del incremento de la mecanización y la sofisticación de los equipos. Dependiendo de la industria, de 15 a 50% del total (variable) del costo de producción es gastado en el mantenimiento de los equipos.
4. La complejidad de la función de Mantenimiento. Ninguna otra función en la industria se expande a un amplio rango de disciplinas como lo hace el mantenimiento. La gestión del Mantenimiento abunda con problemas de control de materiales, compras, personal, control de calidad, finanzas, programación, diseño, proyectos de trabajo, tanto como la gestión de los procesos de falla.

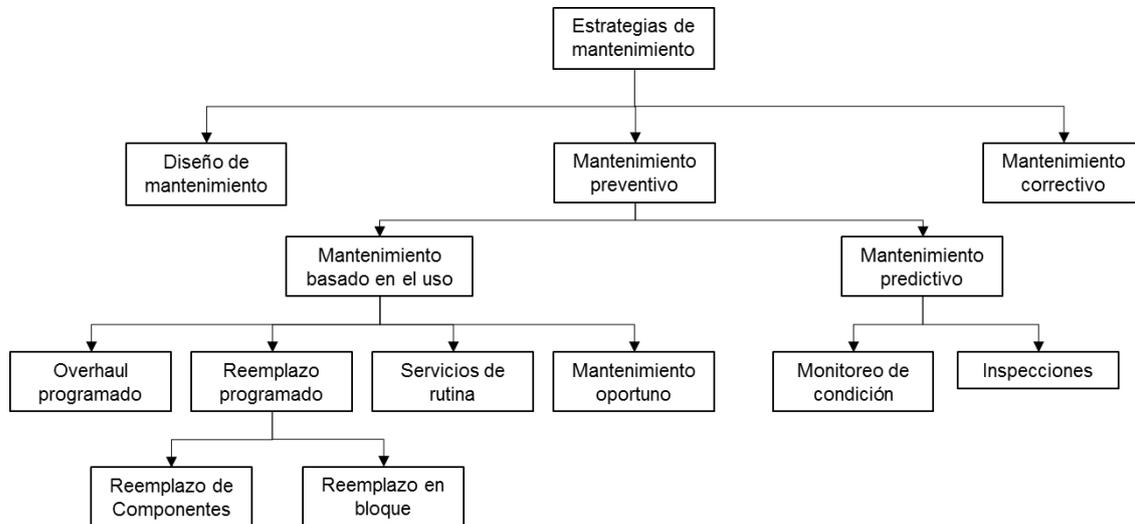
2.2.5 Los objetivos del mantenimiento.

1. La función del mantenimiento debe proveer al menos un nivel aceptable de disponibilidad a la producción (un nivel tal que apoye adecuadamente el plan de producción). Para maximizar la contribución de mantenimiento al beneficio de la empresa, el objetivo de la gestión del mantenimiento debería ser proveer los máximos niveles económicamente viables de disponibilidad.
2. Confiabilidad una maquina puede tener una alta disponibilidad sin ser confiable. Mientras una elevada disponibilidad es importante para asegurar una capacidad operativa, un bajo nivel de confiabilidad conducirá a una alta proporción de paradas molestosas, con la correspondiente pérdida debido a los efectos de una parada y arranque de la planta o equipo.
3. La operatividad del equipo para sostener una adecuada tasa de producción (limitado por el diseño).
4. El costo de mantenimiento debería ser realizado si su costo implicado es aceptable. Así, todas las políticas, estrategias, objetivos y planes de mantenimiento deberían tener como base la optimización del costo.

2.2.6 Diseño del mantenimiento.

El objetivo es rediseñar un sistema particular o componente para disminuir la necesidad de mantenimiento mediante la eliminación de modos de falla indeseados. Colocar varias estrategias de Mantenimiento en perspectiva es lo mejor para el entendimiento de la estructura de la estrategia de mantenimiento como se muestra en la figura n.º 5.

Figura n.º 5. Estrategias de Mantenimiento.



Fuente: Elaboración propia.

2.2.6.1 Mantenimiento preventivo.

El mantenimiento preventivo puede estar basado en el uso o basado en la condición. Todas las estrategias de Mantenimiento que apuntan a la prevención de la falla desde que ocurre son de la clase de Mantenimiento Preventivo.

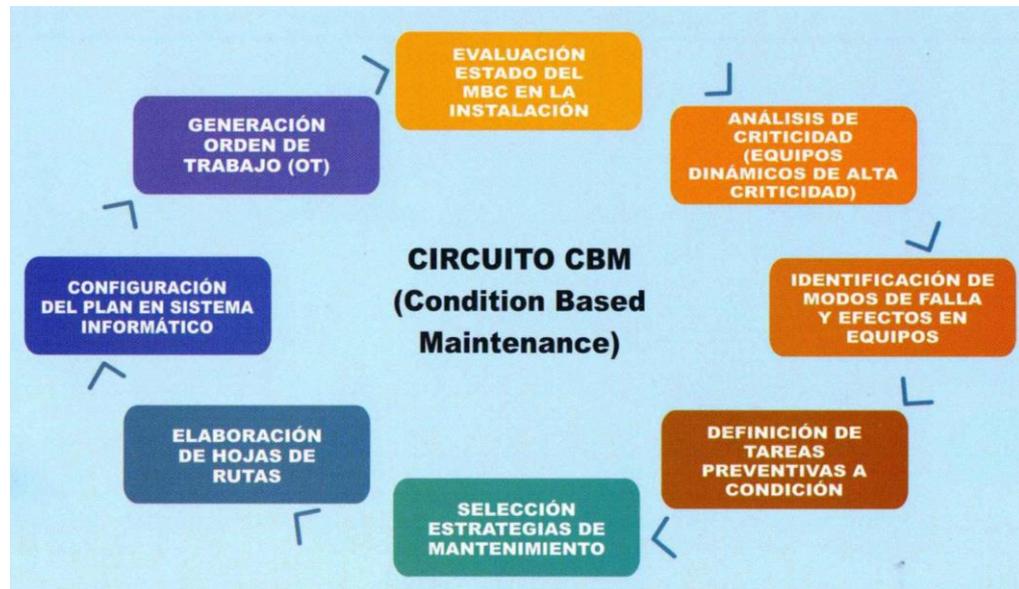
El mantenimiento preventivo busca evitar averías mediante la realización de intervenciones que disminuyen la probabilidad de fallo, y de este modo aumentan la fiabilidad del equipo.

Las intervenciones se pueden realizar de forma periódica o sistemática.

2.2.6.2 Mantenimiento predictivo (basado en la condición).

La condición del equipo es medido a intervalos predeterminados, para detectar cuando el componente fallará, en la figura n.º 6 se observa el circuito CBM (condición basado en el mantenimiento). Solo luego será programado un reemplazo / overhaul.

Figura n.º 6. Mantenimiento basado en la condición.



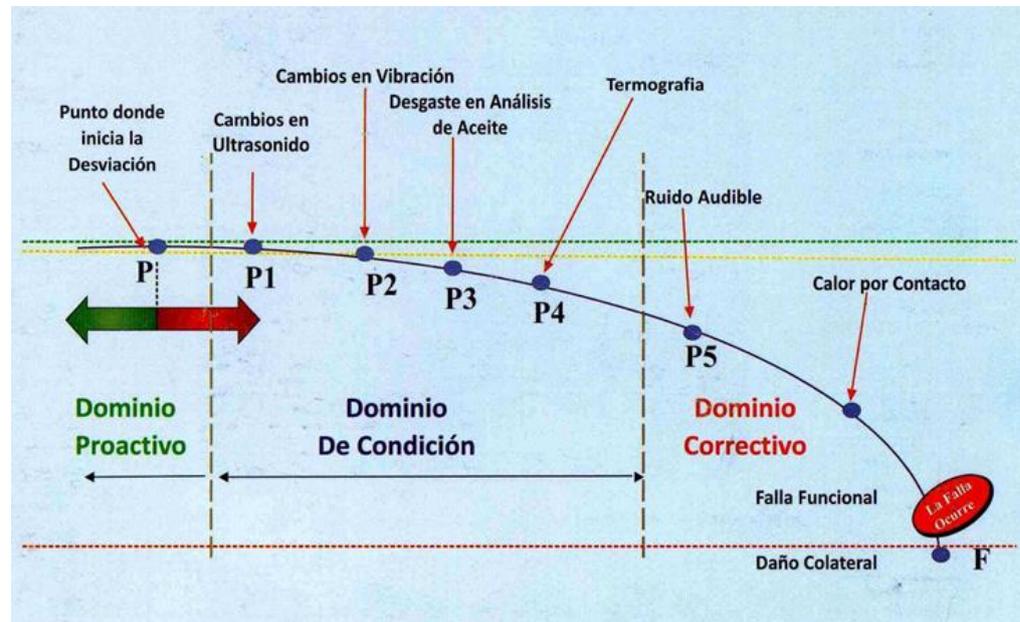
Fuente: (IPEMAN Instituto Peruano de Mantenimiento, 2016).

Se pueden identificar dos tipos principales de mantenimiento basado en la condición:

- Inspección – emplea los cinco sentidos de una persona (ingeniero, técnico, operador) para determinar la condición del equipo o componente. Esto puede incluir el uso de instrumentos que mejoran el uso de los sentidos a través de la amplificación o comparación.
- Monitoreo de Condición – algunos parámetros son monitoreados para detectar signos de inminente falla. Como por ejemplo: vibración, condición de aceite, rendimiento de equipo, termografía.

En la figura n.º 7 se observa el monitoreo de la condición desde el punto donde se inicia la desviación hasta el punto donde ocurre la falla.

Figura n.º 7. Monitoreo de condición.



Fuente: (IPEMAN Instituto Peruano de Mantenimiento, 2016).

2.2.6.3 Mantenimiento correctivo (de falla).

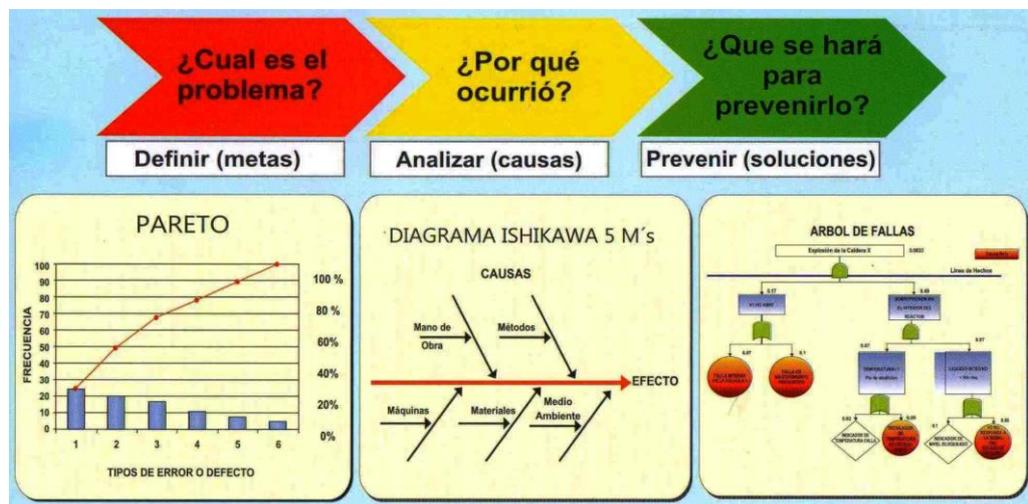
Esta es una estrategia de “no hacer nada” o “esperar la falla”. Esta estrategia no trata de determinar completamente cuando fallará el componente (monitoreo de condición o inspección) o hacer algo para prevenir la falla antes que ocurra (basado en el uso). Este mantenimiento es apropiado en máquinas de baja repercusión en el sistema, dado que, de este modo, sólo se emplean recursos cuando se produce el problema.

2.2.6.4 Mantenimiento Proactivo.

En vez de emplear información obtenida del monitoreo (o por otros medios) para predecir cuándo ocurrirá la falla, la misma información se emplea para erradicar la falla completamente.

La acción proactiva se toma para eliminar completamente la causa raíz de la falla. Para implementar tal método, debe estar disponible la instrumentación correcta para facilitar la toma de las mediciones necesarias. El diseño juega un rol importante en el Mantenimiento Proactivo. En la figura n.º 7 se observa como es el desarrollo del mantenimiento proactivo.

Figura n.º 8. Mantenimiento Proactivo.



Fuente: (IPEMAN Instituto Peruano de Mantenimiento, 2016).

2.2.7 Efectividad operacional.

Mide si las acciones de mantenimiento son efectivas en cuanto al comportamiento operacional de las instalaciones, sistemas, equipos y dispositivos, además permiten medir la calidad de los trabajos y grado de cumplimiento de los planes de mantenimiento. Así como evaluar si estos planes están siendo efectivos.

2.2.7.1 Disponibilidad.

La disponibilidad es medida cómo el porcentaje de tiempo (del tiempo total de producción) que la maquina está disponible para usarse para propósitos de producción.

También se puede definir una disponibilidad que depende solo del diseño del equipo, a la que llamaremos Disponibilidad Inherente, de la siguiente manera:

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

MTBF = Tiempo promedio entre fallas.

MTTR = Tiempo promedio para la reparación.

2.2.7.2 Tiempo promedio entre fallas (MTBF Mean Time Between Failure).

El Tiempo Promedio entre Fallos indica el intervalo de tiempo más probable entre un arranque y la aparición de un fallo; es decir, es el tiempo medio transcurrido hasta la llegada del evento "fallo".

Mientras mayor sea su valor, mayor es la confiabilidad del componente o equipo. Uno de los parámetros más importantes utilizados en el estudio de la Confiabilidad constituye el MTBF, es por esta razón que debe ser tomado como un indicador más que represente de alguna manera el comportamiento de un equipo específico.

$$MTBF = \frac{N^{\circ} \text{ de horas de operación}}{N^{\circ} \text{ de paradas correctivas}}$$

MTBF = Tiempo promedio entre fallas.

2.2.7.3 Confiabilidad.

Es la "capacidad de una máquina, planta industrial, sistema de desempeñar una función requerida, en condiciones establecidas durante un período de tiempo determinado". Es decir, que habremos logrado la Confiabilidad requerida cuando la máquina o equipo hace lo que queremos que haga y en el momento que queremos que lo haga. La Confiabilidad impacta directamente sobre los resultados de la empresa, debiendo aplicarse no sólo a máquinas o equipos aislados sino a la totalidad de los procesos que constituyen la cadena de valor de la organización.

2.2.7.4 Tiempo promedio para la reparación (MTTR Mean Time To Repair).

Las dos medidas anteriores proveen una indicación de la confiabilidad del sistema o el promedio del ciclo de producción. Lo que se necesita adicionalmente es una medida del promedio del ciclo de parada. Esto también se llama Mantenibilidad del equipo y mide la facilidad con la que un equipo es reparado.

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de reparaciones correctivas}}{N^{\circ} \text{ de reparaciones correctivas}}$$

MTTR = Tiempo promedio para la reparación.

Tecsup-Gestión del Mantenimiento tomado de T. Wireman El arte de mantener,
R. Pascual Universidad de Chile

2.2.8 Herramientas asociadas al mantenimiento.

Según Bonilla E.; Díaz B.; Kleeberg F. y Noriega M. (2012) estas son algunas herramientas para la identificación y selección de problemas que deben solucionarse o mejorar un indicador en la organización, así como las alternativas de solución que se puedan implementar.

2.2.8.1 Gráfico de barras.

Este tipo de gráfica utiliza barras paralelas de ancho idéntico para comparar el comportamiento de un determinado hecho cuantitativo.

La gráfica de barras es de gran ayuda para la comparación de la magnitud de varias cantidades; a menudo se utiliza para analizar las relaciones cuantitativas de factores del lugar de trabajo, como número de defectos que ocurren por proceso, número de clientes atendidos por mes, comportamiento anual de los costos de calidad.

Ejemplo:

En un centro recreativo se han detectado fallas en la iluminación, por lo que se desea evaluar el sistema de iluminación de cada pabellón para brindar un mejor servicio. En la tabla n.º 1 muestra las fallas encontradas en el sistema de iluminación.

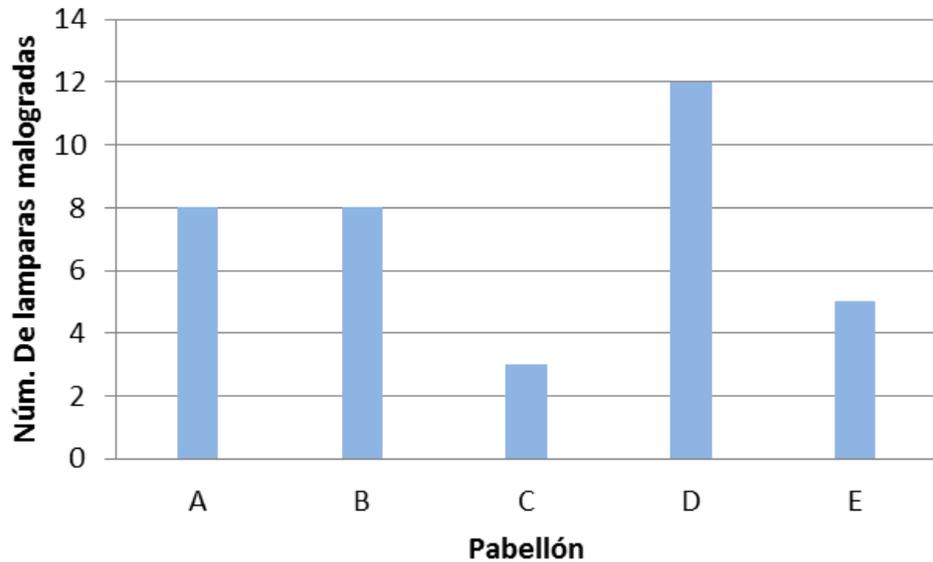
Tabla n.º 1. Datos para la elaboración de gráficas.

Pabellón	A	B	C	D	E
Número de lámparas malogradas	8	8	3	12	5

Fuente: Elaboración propia.

De esta información se realiza la siguiente gráfica de barras figura n.º 9.

Figura n.º 9. Representación de gráfica de barras.



Fuente: Elaboración propia.

2.2.8.2 Gráfica de línea.

Es una forma de representar gráficamente los valores de la variable de un problema en estudio, poniendo de manifiesto la tendencia de una serie de datos en el tiempo.

Las gráficas de línea son la mejor opción que se tiene en el caso de que se desee mostrar los cambios de una variable con respecto al tiempo. Ejemplos de utilización de estas gráficas son: ventas de un producto durante el año, índice de defectos por mes, niveles de contaminación ambiental, entre otros.

Ejemplo:

Se requiere analizar el trabajo que desempeña un trabajador nuevo en la máquina extrusora de la línea de producción de envases plásticos, por lo que se han registrado en la tabla n.º 2 la cantidad elaborada cada día, durante un turno de 7.5 horas de trabajo efectivo.

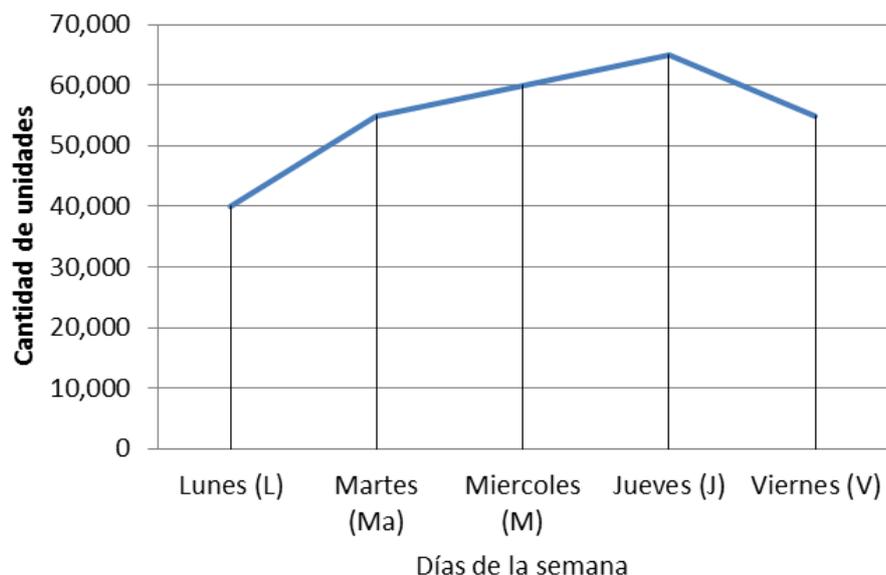
Tabla n.º 2. Datos para la elaboración de grafica de línea.

Día	Cantidad de unidades
Lun	40,000
Mar	55,000
Mie	60,000
Jue	65,000
Vie	55,000

Fuente: Elaboración propia.

Esta información se muestra en la siguiente grafica de línea de la figura n.º 10.

Figura n.º 10. Representación de gráfica de línea.



Fuente: Elaboración propia.

2.2.8.3 Gráfica de pastel.

Es una gráfica circular que representa la composición porcentual de un grupo de datos con respecto al total del ítem o tema analizado. Su forma se asemeja a rebanadas de pastel, de donde toma su nombre.

Permite comparar sectores de un conjunto de datos, representados como tajadas de un círculo. Sus usos pueden ser observar la descomposición de las ventas de determinados productos, la participación de la empresa en el mercado, la distribución de tipos de participantes en una encuesta de satisfacción del servicio brindado, entre otras aplicaciones.

Ejemplo:

Una empresa de productos naturistas ha estudiado las ventas de sus productos A, B, C y D durante los últimos tres meses, cuyo resultado se muestra en la tabla n.º 3.

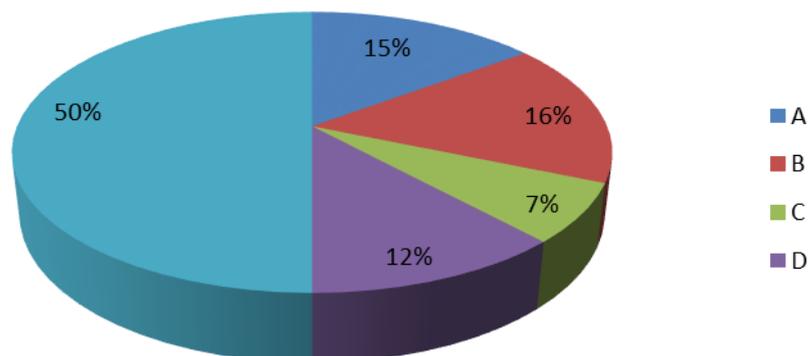
Tabla n.º 3. Datos para elaboración de la gráfica de pastel.

Mes	A	B	C	D	Total
1	250	280	115	200	845
2	286	100	100	100	586
3	354	120	80	110	664
Total	890	500	295	410	2095
%	42.48	23.87	14.08	19.57	100

Fuente: Elaboración propia.

En la figura n.º 11 se observa el porcentaje correspondiente a las ventas de cada producto con respecto al total.

Figura n.º 11. Representación de grafica de pastel.



Fuente: Elaboración Propia.

2.2.8.4 Gráfica de banda o columna.

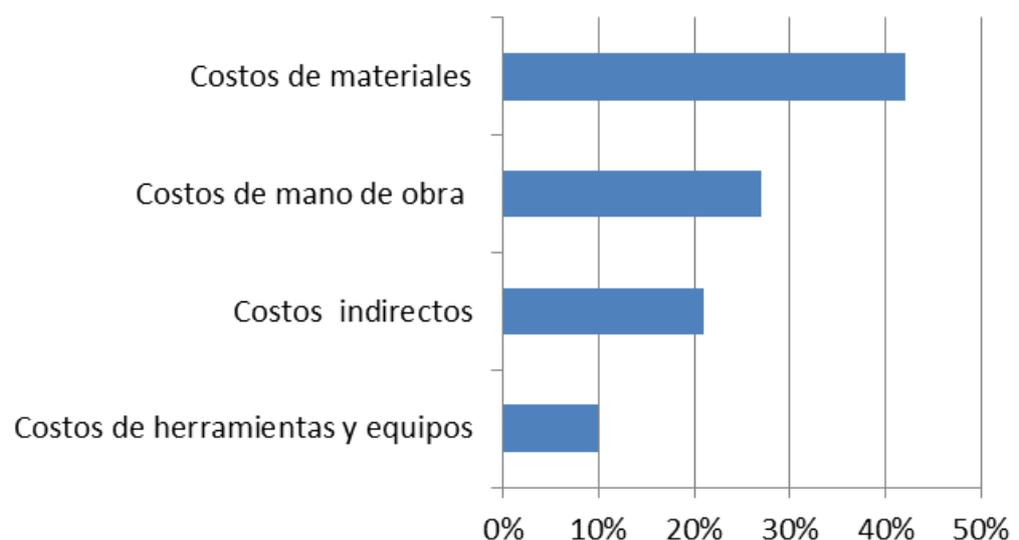
La gráfica de banda sirve para expresar la composición interna de alguna situación y las proporciones de sus componentes. El dibujo de varias bandas en forma paralela sirve para la comparación de cantidades y proporciones.

Cuando se requiere mostrar los datos que están relacionados unos con otros en función de algún factor, por ejemplo el tiempo. Es mucho más fácil ver cómo se compara cada banda con las otras que hacerlo por sectores en un gráfico circular. Un gráfico de columna permite analizar más características que las que tiene un gráfico circular. Las bandas deben estar separadas para evidenciar que los valores recogidos en la abscisa son categorías discontinuas. Normalmente se utilizan para comparar distintos grupos de un aspecto de interés. En relación con las gráficas de línea las gráficas de barras son mejores para períodos de tiempo más cortos y cuando hay grandes cambios entre un período y el siguiente.

Ejemplo:

En una empresa metalmeccánica se determinó que el componente mayor de los costos de reparación es el de los materiales, con un 42%. Le sigue la mano de obra con un 27%; costos indirectos con un 21% y finalmente los costos de herramientas y equipos con un 10% los resultados de estos costos se muestran en la gráfica de la figura n.º 12.

Figura n.º 12. Representación de gráfica de banda o columna.



Fuente: Elaboración propia.

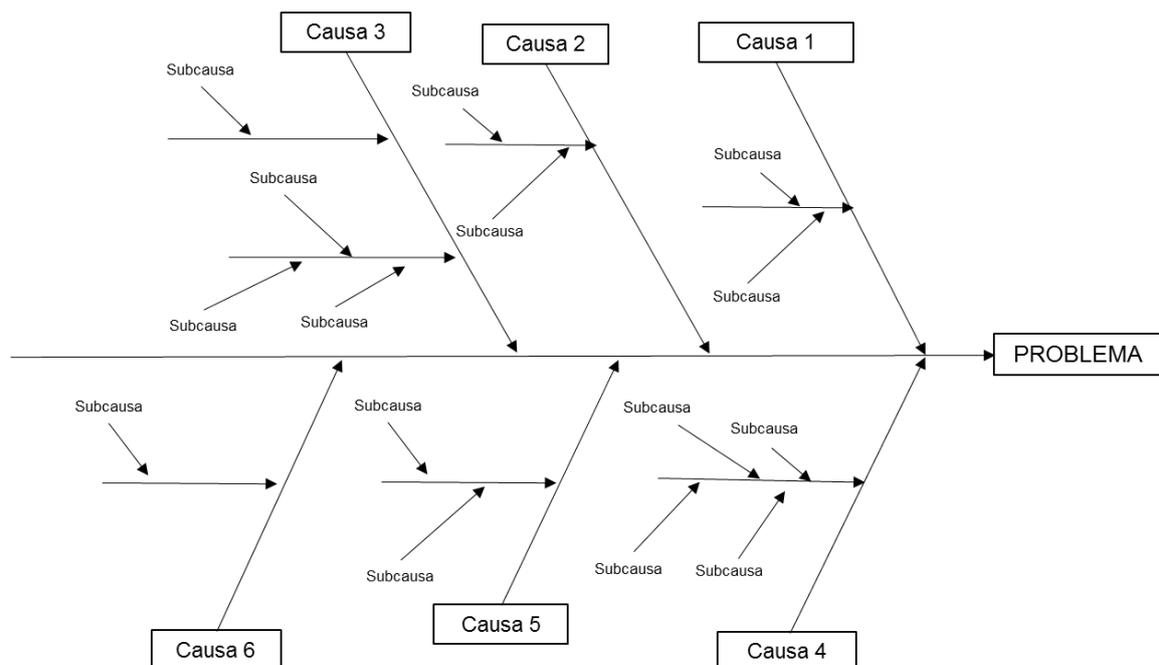
2.2.8.5 Diagrama causa-efecto.

El diagrama causa-efecto es una descripción de las causas de un problema, que se conjugan en la forma de una espina de pescado, y que les sirve a los equipos de mejora para analizar y discutir los problemas. Las principales causas de problemas en las organizaciones se agrupan generalmente en seis aspectos: medio ambiente, medios de control, maquinaria, mano de obra, materiales y métodos de trabajo.

Es utilizado para analizar la relación causa-efecto, comunicarla y facilitar la solución de problemas, desde el síntoma, la causa y la solución.

El diagrama se llena con la información recopilada de una sesión de "lluvia de ideas" de un problema en la empresa, y posteriormente se buscan datos que permitan comprobar si esa gráfica inicial era correcta. Sobre la base de la información recogida (gráficas de Pareto, etc.) y de una lluvia de ideas, se puede llegar a la reelaboración del diagrama hasta que se diagnostique el problema, es decir, hasta que se sepa cuáles son sus causas raíz. Este es, naturalmente, el primer paso para resolverlo.

Figura n.º 13. Representación de diagrama de Ishikawa o espina de pescado.



Fuente: Elaboración Propia.

2.2.8.6 Curva de Pareto.

Es un diagrama que se utiliza para determinar el impacto, la influencia o el efecto que tienen determinados elementos sobre un aspecto. A menudo se encuentra que gran parte del volumen de ventas de una empresa es realizada a través de muy pocas líneas de sus productos, o que la mayoría de los defectos encontrados en un producto se deben a unas pocas causas identificadas; lo anterior se debe al concepto de "pocos vitales" contra los "muchos triviales", introducido por el economista italiano Wilfrido Pareto.

El diagrama de Pareto permite clasificar los elementos (problemas o defectos) en función de su impacto en la organización. La clase A contiene cerca del 20% de los elementos y el 80% de impacto. En el otro extremo, la clase C contiene el 50% de elementos y solo un 5% de impacto. Con la clase intermedia se encuentran el 30% de los elementos y el 15% de impacto.

Para un equipo de mejora es preferible dirigir sus esfuerzos en aquellos elementos que se encuentran en la clase A, para reducir los problemas o efectos más significativos o importantes para la organización. Se puede utilizar esta gráfica con los fines siguientes:

- Saber qué elementos son prioritarios y dirigir hacia estos nuestros esfuerzos.
- Planear una mejora continua a la causa raíz de un problema.
- Las gráficas de Pareto son especialmente valiosas como fotos de "antes y después", para demostrar qué progreso se ha logrado.
- Como tal, la gráfica es una herramienta de análisis sencilla pero poderosa.

Para realizar este diagrama se deben realizar los siguientes pasos:

- Registrar los elementos (problemas o defectos) de una organización.
- Ordenar los elementos cuantificados de mayor a menor.
- Totalizar los datos.
- Calcular el porcentaje de cada elemento en función al total.
- Clasificar los puntos sobre un eje de coordenadas, donde:
 - (X) % acumulado de elementos
 - (Y) % acumulado del impacto del elemento
- Trazar la curva.
- Dividir la curva en tres zonas (A, B y C).

- Analizar el comportamiento de la curva y seleccionar los elementos de la zona A.

Ejemplo:

Un fabricante de máquinas de frío desea conocer cuáles son los defectos más frecuentes que aparecen en las unidades al salir de la línea de producción.

Para ello clasificó todos los defectos posibles en sus diversos tipos los que se observan en la tabla n.º 4

Tabla n.º 4. Clasificación de problemas o defectos.

Tipo de defecto	Detalle del problema
El motor no se detiene	No para el motor cuando alcanza temperatura deseada
El motor no enfría	El motor arranca pero no enfría
La puerta no cierra	La puerta no cierra adecuadamente
El motor no arranca	El motor no arranca después de un ciclo de parada

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla n.º 5 se registra el comportamiento de cada máquina dentro del proceso de producción, se registran sus defectos de acuerdo con dichos tipos y se realiza un análisis para detectar los defectos más significativos.

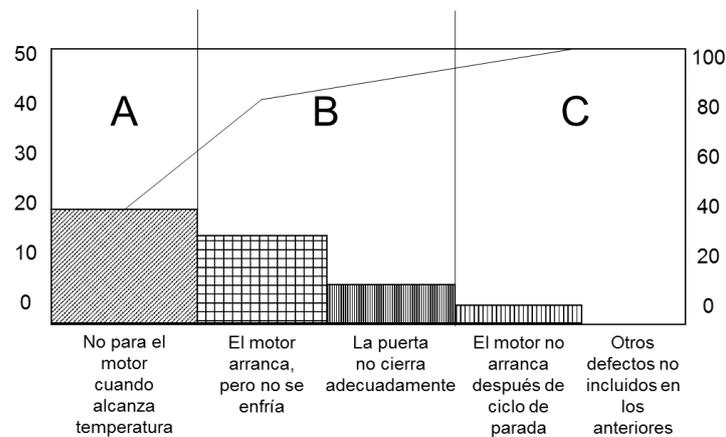
Tabla n.º 5. Análisis para detectar los defectos más significativos encontrados.

Tipo de defecto	Frecuencia	(%)	Porcentaje acumulado
El motor no se detiene	55	79.71	79.71
El motor no enfría	10	14.5	94.21
La puerta no cierra	3	4.35	98.56
El motor no arranca	1	1.44	100.00
Total	69	100	

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente figura se representa la gráfica de Pareto con los datos revisados en las tablas n.º 4 y n.º 5.

Figura n.º 14. Representación de gráfica de Pareto.

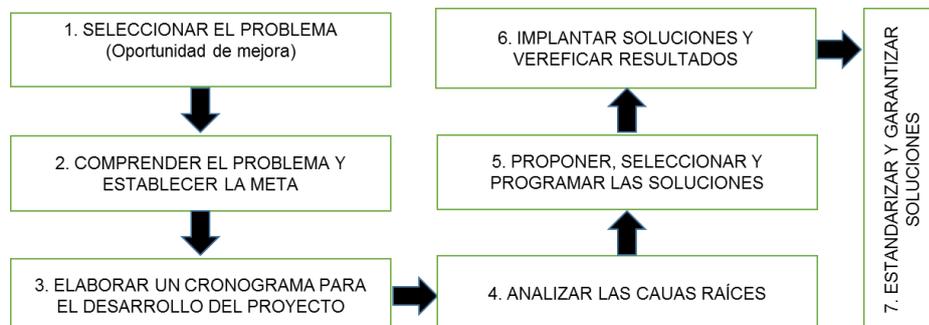


Fuente: Elaboración propia.

2.2.9 Metodología de los siete pasos.

Según Bonilla E. (2012) la metodología de mejora continua Kaizen busca desarrollar, de manera sistemática, pequeñas mejoras en los diferentes procesos de la organización, pero que a lo largo del tiempo contribuyen a la competitividad de la empresa.

Figura n.º 15. Representación de gráfica de los siete pasos de Kaizen.



Fuente: Elaboración propia.

2.2.9.1 Paso uno: seleccionar el problema.

Un problema es un resultado que no se ajusta al estándar o meta establecida, causando una reducción en el nivel de desempeño del proceso, afectando a largo plazo los objetivos estratégicos de la empresa. En este paso debemos identificar el problema principal u oportunidad de mejora.

Las actividades que consideraremos para el desarrollo de ese primer paso son los siguientes:

2.2.9.1.1 Reflexión sobre la misión, la visión los objetivos y las estrategias de la organización.

Toda mejora debe servir para impulsar la visión de la organización, que también queda plasmada en los objetivos estratégicos y estos, a su vez, se desagregan en objetivos tácticos y objetivos operacionales (cuadros de mando). Con esta estructura de indicadores, la organización puede controlar el desempeño de todos sus procesos.

De otro lado, la empresa debe haber establecido estrategias y planes para el logro de los objetivos planificados, estos lineamientos servirán para identificar los procesos que presentan mejores oportunidades de mejora para el desarrollo de la empresa.

2.2.9.1.2 Descripción y caracterización del proceso que se debe mejorar.

Los responsables de los diferentes procesos de la organización deben comparar los resultados de su proceso con los valores metas establecidos en los objetivos (estándares de desempeño); además, deben tener muy claras las entradas y salidas del proceso, los requisitos para cada uno de los elementos de entrada y de salida, y la identificación de los distintos recursos y actividades. Una herramienta apropiada para tal fin puede ser un diagrama de caracterización como por ejemplo un flujograma.

2.2.9.1.3 Identificación de oportunidades de mejora (problemas).

Las oportunidades de mejora o problemas surgen cuando los resultados parciales o finales de un proceso no alcanzan la meta establecida y provocan desperdicio de recursos como materiales o tiempo.

Para verificar si una oportunidad de mejora es realmente un problema para ser resuelto por la metodología establecida, debemos corroborar que cumplan con los siguientes pasos:

- El problema debe ser cuantificado a través de alguna variable; por ejemplo, el tiempo de retraso por actividad, entre otros.
- El análisis y la solución deben depender del área al que pertenece el equipo de mejora que se hará cargo del proyecto.

- El problema planteado debe tener algún nivel de complejidad, es decir, no debería tener solución "obvia".
- El ratio beneficio/costo proyectado es positivo, es decir que estimamos que la inversión en la solución proporcionará algún beneficio económico para la organización.

2.2.9.1.4 Selección del problema principal.

Con base en los registros históricos y la experiencia de los miembros del equipo, se debe elegir con mucha objetividad el problema principal; así pues, se sugiere seleccionar algunos criterios que permitan una adecuada elección: impacto en la satisfacción del cliente, impacto en los costos, complejidad del problema, alineamiento con los objetivos de la empresa, impacto en la seguridad del trabajador, impacto en el medio ambiente, etcétera.

2.2.9.2 Paso dos: Comprender el impacto del problema.

Comprenden cinco pasos que se revisaran a continuación.

2.2.9.2.1 Comprender el impacto del problema.

Es necesario comprender de manera clara el impacto económico, social, técnico y ambiental del problema seleccionado, también se debe determinar el alcance del problema seleccionado, se reflexiona sobre los factores asociados a este problema para finalmente anticiparse a la necesidad de los recursos que estarán asociados a la solución.

2.2.9.2.2 Determinar las variables que se tratarán y coleccionar registros.

La conocida frase "solo se mejora lo que se mide" nos da la posibilidad de cuantificar la magnitud del problema, como sus posibles causas y efectos; en este sentido, para atacar el problema de manera objetiva es necesario lograr identificar las variables más representativas, que nos permitan analizar detalladamente su gravedad. Entonces surge la necesidad de realizar un análisis de un periodo específico con la finalidad de evaluar la tendencia generada por el comportamiento de estas variables.

2.2.9.2.3 Subdividir el problema en estratos para su mejor comprensión.

Cuando el problema es medianamente complejo o complejo, se recomienda desagregar el problema en sub problemas o estratos, con el fin de realizar un análisis más específico y detallado que facilite su comprensión, tal como lo indica la conocida frase "divide y vencerás".

2.2.9.2.4 Identificar los factores del proceso vinculados al problema.

El problema pertenece a un determinado proceso dentro del cual podemos identificar factores como: mano de obra, métodos, máquinas y equipos, materiales, medio ambiente, medios de control, en ese sentido es importante verificar cuáles están fuertemente asociados a la naturaleza del problema.

2.2.9.2.5 Decidir la meta que se debe lograr.

Luego de la comprensión del problema se debe establecer la meta que perseguirá el proyecto. Además los factores asociados al problema son factibles de ser administrados por el equipo de mejora.

Gracias a la comprensión del problema y la meta establecida es posible estimar un tiempo de solución, de acuerdo con los factores asociados.

2.2.9.3 Paso tres: Elaborar el cronograma de desarrollo del proyecto.

En este paso, el equipo a cargo de la búsqueda de la solución que permita lograr la mejora, debe encargarse de elaborar la lista de actividades que se van a desarrollar, empezando por recolectar datos para el análisis de causas raíz, seguido de un planteamiento de soluciones y selección de las mejores alternativas, esto incluye la implementación y verificación de resultados y termina con la etapa de estandarización de la solución puesta en ejecución. Es beneficioso detallar cada etapa; asimismo, se recomienda establecer los tiempos necesarios para el logro de cada etapa.

2.2.9.4 Paso cuatro: Analizar las causas del problema.

Las actividades de este paso son las siguientes:

2.2.9.4.1 Preparar las causas del problema.

El equipo debe efectuar una tormenta de ideas para identificar las causas asociadas al problema, para lo cual es importante la experiencia de los miembros del equipo y el manejo de registros asociados a las causas potenciales. Las causas pueden clasificarse utilizando una matriz de afinidad; una clasificación previa de las causas podría ejecutarse de acuerdo con la técnica de 6M, que detallamos a continuación.

- Mano de obra.- ¿Los trabajadores observan normas?, ¿se trabaja de manera eficiente?, ¿los trabajadores son conscientes del problema?, ¿son hábiles?
- Máquinas.- ¿Cumplen los requerimientos de producción?, ¿satisfacen las capacidades del proceso?, ¿son lubricadas de manera apropiada?, ¿están libres de fallas y paradas?, ¿son completamente inspeccionadas?
- Materiales.- ¿Se reciben de manera oportuna?, ¿la calidad es adecuada?, ¿se almacenan de manera correcta?, ¿existe mucho inventario?
- Métodos.- ¿Son satisfactorias las normas de trabajo?, ¿se mantienen actualizadas las normas de trabajo?, ¿están estandarizados?, ¿son seguros?
- Medio ambiente.- ¿El nivel de iluminación de los puestos es adecuado?, ¿cuáles son el nivel de ruido y el clima laboral?
- Medios de control.- ¿Los equipos e instrumentos han sido calibrados?, ¿los instrumentos utilizados son adecuados?

2.2.9.4.2 Análisis causa-efecto.

Las causas identificadas y clasificadas se presentarán a través de diagramas que muestren su relación con el efecto o problema. Existen diversas herramientas para este análisis, por ejemplo el diagrama de Ishikawa. La finalidad de esta actividad es identificar las causas en su raíz; dichas causas son el origen específico del problema. Debemos comprender

que identificar las causas raíz es importante, porque facilita el proceso de identificación de soluciones. Otro aspecto de esta etapa es opinar con criterio racional, es decir, basarnos en los datos históricos o las evidencias objetivas; en ese sentido el líder debe tener cuidado con las opiniones vertidas por el equipo.

2.2.9.4.3 Analizar la criticidad de las causas raíz.

Para el análisis de la criticidad de las causas, y a fin de determinar las causas raíz principales, es necesario discriminarlas. Dos cualidades básicas de las causas raíz son: "frecuencia" e "impacto"; la primera se refiere a la cantidad de veces que la causa raíz aparece involucrándose con el problema, y la segunda se refiere al impacto (económico, técnico, social, etcétera) que dicha causa ejerce sobre el problema. Los miembros del equipo orientados por el líder y con base en registros o en amplia experiencia, efectúan la ponderación de cada causa raíz, el valor asignado puede representar un promedio de las opiniones.

2.2.9.4.4 Elaboración del diagrama de Pareto.

Con las puntuaciones obtenidas elaboramos un diagrama de Pareto, pues resulta interesante para la identificación de la importancia de las causas raíz, es decir, se espera que el 20% de las causas raíz generen el 80% del problema.

2.2.9.4.5 Clasificación de las causas raíz.

Finalmente, es necesario clasificar la causa raíz principal, de acuerdo con su naturaleza, para tener una orientación en el momento de establecer alternativas de solución. Las alternativas de clasificación serían: mano de obra, materiales, métodos, máquinas, medios de control y medio ambiente.

2.2.9.5 Paso cinco: Proponer, seleccionar y programar las soluciones.

Este paso requiere de mucha creatividad, con el fin de proponer soluciones impactantes alineadas con la causa raíz principal.

Existen dos maneras de percibir las soluciones, la primera consiste en dar solución a cada causa raíz o de lo contrario tomar las causas raíz como

conjunto, y segundo, buscar una solución integrada, que suele ser más eficaz y productiva sin embargo, la decisión dependerá de la naturaleza de las causas raíz. El paso cinco consta de tres actividades y son las siguientes:

2.2.9.5.1 Proponer ideas de solución.

En esta etapa se proponen alternativas de solución que permitan atacar la causa raíz principal, es decir, proponer soluciones que eliminen los riesgos que afecten negativamente los resultados del proceso. El líder debe orientar a sus colaboradores para que analicen sus propuestas desde diferentes ángulos: económico, técnico, social. Asimismo, se debe estimular la creatividad de los colaboradores con el fin de que las propuestas sean muy creativas y de alto impacto sobre las causas del problema.

2.2.9.5.2 Seleccionar propuestas de acciones.

Para ello se deben establecer los criterios que se utilizarán para evaluar cada alternativa propuesta: inversión, beneficio/costo, horizonte de implementación, factibilidad de la solución, impacto en la satisfacción, alineamiento con las estrategias de la organización, etcétera

2.2.9.5.3 Programar la implementación de la solución elegida.

Para esto se requiere elaborar una lista desagregada de actividades, definir el cronograma, determinar los recursos necesarios para cada actividad y designar a los responsables de cada una de ellas. Un programa bien elaborado permite garantizar el presupuesto necesario para ejecutar exitosamente el proyecto. Debemos considerar que todo programa bien elaborado permite identificar los riesgos que podrían presentarse durante la implementación de la solución.

2.2.9.6 Paso seis: Implementar y verificar resultados.

En esta etapa se debe ejecutar el plan de implementación elaborado en el paso cinco, así como evaluar los resultados con el fin de comparados con la meta establecida. Al inicio de cada semana se deberá contrastar el avance real con el cronograma establecido. Podremos realizar el seguimiento a nuestras variables para medir el resultado. Existe una diversidad de herramientas para

este paso: diagramas de Gantt, histogramas, gráficas de control, diagramas de correlación, listas de chequeo.

2.2.9.7 Paso siete: Normalizar y establecer un control.

Este paso se desarrolla luego de haber verificado que la solución se ajuste a la meta establecida; pues su objetivo es asegurar que las mejores propuestas (cambios, innovaciones) se mantengan en el tiempo; además, es importante difundir la solución para que pueda ser replicada en otras áreas o procesos que lo requieran.

En este paso tenemos cuatro tareas y son las siguientes:

- Normalizar los procedimientos que forman parte de la solución, lo cual se logra estableciendo políticas y documentando los cambios, utilizando procedimientos, instrucciones o registros. Al mismo tiempo, se deben definir políticas para el uso del manual de buenas prácticas de manufactura, documentar el seguimiento y analizar los resultados.
- Se debe proporcionar entrenamiento al personal involucrado y difundir el proceso mejorado entre las áreas involucradas.
- Establecer técnicas y herramientas de control, para hacerle seguimiento a los resultados y a las variables causales involucradas.
- Por último se debe reconocer y difundir los documentos del proyecto, que deben conservarse adecuadamente y mantenerse al alcance de todos los interesados. Es importante reconocer la actitud positiva del personal con relación al cumplimiento de los nuevos procedimientos. Del mismo modo, los resultados de las mejoras deben ser difundidos entre otras áreas que pudieran en las que se pueden aprovechar las mejoras logradas.

2.3 Definición de términos básicos.

- **Efectividad operacional:** Sistema de gestión que está compuesto por estrategias y acciones orientadas a la mejora continua de los resultados operacionales.
- **Plan de mejora continua:** Metodología para optimizar el proceso de mantenimiento.

- **Mantenimiento Preventivo:** Actividades para mantener la condición específica de operación de un equipo.
- **Mantenimiento Correctivo:** Se realiza cuando sucede la falla, es realizado sin un plan de actividades.
- **Mantenimiento Predictivo:** Mantenimiento basado en el monitoreo de una máquina.
- **Disponibilidad:** Es el porcentaje de tiempo total que se puede esperar que un equipo esté disponible para cumplir la función para la cual fue destinado.
- **Tiempo promedio entre fallas (MTBF):** Tiempo promedio en que un equipo cumpla su función sin interrupción debido a una falla.
- **Tiempo promedio para la reparación (MTTR):** Tiempo de reparación de un equipo.
- **Confiabilidad:** Probabilidad que un equipo no falle mientras está operando, durante un tiempo determinado.
- **DISPATCH:** El sistema DISPATCH es un software de gestión de flota que realiza cálculos en disponibilidad y genera indicadores de gestión como por ejemplo MTBF y MTTR en el caso de mantenimiento y se encuentra disponible tanto para equipos de superficie como para equipos que trabajan en socavón.
- **Diesel Cummins Perú (DCP):** Empresa representante de los motores Cummins en Perú, encargada de proveer repuestos y revisar los temas de garantía que resulten de los eventos en el desempeño del trabajo.
- **Sistema MineCare:** Es un software creado por la empresa Modular Minig Systems, que sirve para monitorear de forma remota las condiciones de funcionamiento de equipos de acarreo, carguío y equipos de soporte auxiliar.

3 HIPÓTESIS

3.1 Formulación de la hipótesis.

Si se implementa el sistema MineCare, se incrementará la disponibilidad de la flota de acarreo de la Cía. Minera Antamina, conformada por los camiones KOMATSU 930E.

- Variable Independiente: Sistema MineCare.
- Variable Dependiente: Disponibilidad mecánica de camiones KOMATSU 930E.

3.2 Operacionalización de variables.

Tabla n.º 6. Operacionalización de variables.

Tipo	Variable	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores
Independiente	Sistema MineCare	Sistema de monitoreo remoto en tiempo real	Detección de eventos	Número de eventos detectados por mes
Dependiente	Disponibilidad mecánica de camiones KOMATSU 930E	Porcentaje de tiempo total que se puede esperar que un equipo esté disponible para cumplir la función para la cual fue destinado.	Tiempo de operación	Tiempo de operación establecido por el área de operaciones
			Tiempo entre fallas	Tiempo promedio entre fallas (MTBF)
			Tiempo para la reparación	Tiempo promedio para la reparación (MTTR)

Fuente: Elaboración propia.

4 MATERIAL Y MÉTODOS

4.1 Tipo de diseño de investigación.

Dada la naturaleza de la presente trabajo, el tipo de diseño de investigación que hemos considerado aplicar, es el Diseño Pre-Experimental, ya que podemos decir que este tipo de diseño es una situación de control en la cual se manipula de manera intencional, una o más variables independientes para analizar las consecuencias sobre una o más variables dependientes.

G O₁ X O₂

G: Grupo Experimental: Este grupo será elegido por decisión de gerencia de mantenimiento de Cía. Minera Antamina.

O₁: Observación pre prueba: Se observará la disponibilidad antes de la implementación del sistema MineCare como parte del plan de mejora continua en el programa de mantenimiento.

O₂: Observación post prueba: Se observará la disponibilidad después de la implementación del sistema MineCare como parte del plan de mejora continua en el programa de mantenimiento.

X: Estímulo: Implementación del sistema MineCare como parte del plan de mejora continua en el plan de mantenimiento para mejorar disponibilidad.

4.2 Material.

4.2.1 Unidad de estudio.

La unidad de estudio será cada uno de los elementos que constituyen la flota de acarreo. Compréndase esto como cada camión KOMATSU 930E de los 10 que fueron elegidos para la implementación del sistema.

4.2.2 Población.

La población está constituida por la flota de 80 camiones KOMATSU 930E.

Tabla n.º 7. Población de camiones KOMATSU 930E.

Nº	EQUIPO	MODELO	SERIE	Nº	EQUIPO	MODELO	SERIE
1	HT080	930E	A31238	41	HT120	930E	A31476
2	HT081	930E	A31239	42	HT121	930E	A31501
3	HT082	930E	A31256	43	HT122	930E	A31502
4	HT083	930E	A31258	44	HT123	930E	A31504
5	HT084	930E	A31260	45	HT124	930E	A31516
6	HT085	930E	A31261	46	HT125	930E	A31518
7	HT086	930E	A31262	47	HT126	930E	A31528
8	HT087	930E	A31266	48	HT127	930E	A31530
9	HT088	930E	A31268	49	HT128	930E	A31536
10	HT089	930E	A31022	50	HT129	930E	A31538
11	HT090	930E	A31024	51	HT130	930E	A31542
12	HT091	930E	A31033	52	HT131	930E	A31544
13	HT092	930E	A31082	53	HT132	930E	A31546
14	HT093	930E	A31084	54	HT133	930E	A31558
15	HT094	930E	A31085	55	HT134	930E	A31564
16	HT095	930E	A31088	56	HT135	930E	A31582
17	HT096	930E	A31089	57	HT136	930E	A31584
18	HT097	930E	A31093	58	HT137	930E	A31586
19	HT098	930E	A31091	59	HT138	930E	A31593
20	HT099	930E	A31157	60	HT139	930E	A31595
21	HT100	930E	A31173	61	HT140	930E	A31597
22	HT101	930E	A31270	62	HT141	930E	A31723
23	HT102	930E	A31275	63	HT142	930E	A31725
24	HT103	930E	A31277	64	HT143	930E	A31726
25	HT104	930E	A31279	65	HT144	930E	A31745
26	HT105	930E	A31281	66	HT145	930E	A31746
27	HT106	930E	A31283	67	HT146	930E	A31747
28	HT107	930E	A31295	68	HT147	930E	A31758
29	HT108	930E	A31306	69	HT148	930E	A31759
30	HT109	930E	A31308	70	HT149	930E	A31760
31	HT110	930E	A31310	71	HT150	930E	A31749
32	HT111	930E	A31312	72	HT151	930E	A31752
33	HT112	930E	A31432	73	HT152	930E	A31761
34	HT113	930E	A31448	74	HT153	930E	A31778
35	HT114	930E	A31452	75	HT154	930E	A31779
36	HT115	930E	A31464	76	HT155	930E	A31780
37	HT116	930E	A31466	77	HT156	930E	A31796
38	HT117	930E	A31475	78	HT157	930E	A31797
39	HT118	930E	A31477	79	HT158	930E	A31798
40	HT119	930E	A31479	80	HT159	930E	A31919

Fuente: Elaboración propia.

4.2.3 Muestra.

Siendo la población de estudio, pequeña y considerando el tipo de investigación planteado (pre experimental), la muestra ha sido designada por decisión de gerencia de mantenimiento de Cía. Minera Antamina, la cual consta de 10 unidades, la elección fue por decisión de gerencia de mantenimiento, la que consideró a los camiones que contaban con la mayor cantidad de horas operativas del motor.

Tabla n.º 8. Muestra de camiones KOMATSU 930E.

Nº	EQUIPO	MODELO	SERIE
1	HT080	930E	A31238
2	HT081	930E	A31239
3	HT082	930E	A31256
4	HT083	930E	A31258
5	HT084	930E	A31260
6	HT085	930E	A31261
7	HT086	930E	A31262
8	HT087	930E	A31266
9	HT088	930E	A31268
10	HT089	930E	A31022

Fuente: Elaboración Propia.

4.3 Métodos.

4.3.1 Técnicas de recolección de datos y análisis de datos.

Recolección de datos:

Para la recolección de los datos cuantitativos sobre paradas de las camiones tales como: la disponibilidad, el tiempo promedio entre fallas, el tiempo promedio para la reparación y el sistema que falló, se recogerán de los reportes generados por cada evento en el que se vea involucrado un camión KOMATSU 930E que presente una falla en el sistema de motor, también se revisarán los reportes del personal de campo y los reportes de performance de la flota de camiones.

Análisis de datos:

Los datos recolectados serán procesados estadísticamente y visualizados a través de tablas y gráficos, los mismos que nos permitirán sacar conclusiones y acciones a ejecutar.

Las herramientas estadísticas a utilizar son:

- Diagrama de causa efecto
- Gráficas

4.3.2 Procedimientos.

a) Diagnóstico.

a.1 Técnica: Se implementará el sistema MineCare para el monitoreo de la flota de camiones KOMATSU 930E, para lo cual seguiremos los siete pasos recomendados por el sistema de mejora continua “Kaizen” que fue desarrollado en el punto 2.2.7, lo que nos permitirá realizar de forma ordenada la implementación del nuevo sistema de monitoreo.

a.2 Procedimiento: Realizaremos el análisis de la información correspondiente a las paradas no programadas más significativas, específicamente las que estén vinculadas al sistema de motor. Estos datos serán analizados en graficas de líneas, Pareto, posteriormente se elaborará un cronograma de trabajo.

a.3 Instrumentos de evaluación:

- Emplearemos las herramientas de interpretación como diagramas de líneas, Ishikawa, Pareto, barras, pastel.

b) Propuesta.

De acuerdo al diagnóstico, se elabora el plan de implementación del sistema MineCare, con el cual podremos monitorear, en tiempo real las condiciones de los camiones con la finalidad de conocer de forma más acertada las causas que podrían originar fallas críticas que resulten en paradas no programados con altos costos de mantenimiento y mejorar el tiempo para el mantenimiento de los camiones KOMATSU 930E.

c) Evaluación de la implementación.

c.1 Técnica: Se empleará la metodología de mejora continua desarrollada en el punto 2.2.7, correspondiente a la implementación de la metodología Kaizen.

c.2 Procedimiento: Manejo del plan de implementación.

c.3 Instrumentos de evaluación – técnica: Evaluación de acuerdo a la metodología de los siete pasos de Kaizen.

5 DESARROLLO

5.1 Ubicación.

5.1.1 Ubicación geográfica.

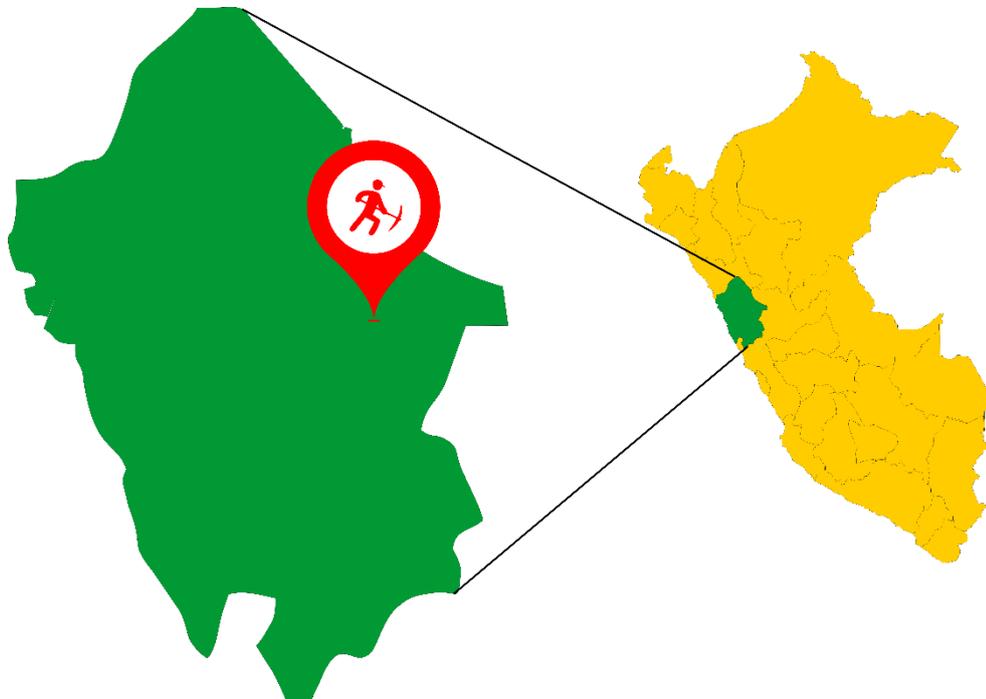
La mina está ubicada en el distrito de San Marcos, provincia de Huari, en la Región Áncash, en el Perú, aproximadamente a 4 km. de la ciudad de San Marcos y 200 km. de la ciudad de Huaraz, 420 km de la ciudad de Lima y a una altitud promedio de 4.300 metros sobre el nivel del mar.

Tabla n.º 9. Se muestran las coordenadas UTM para el área de la mina.

Coordenadas UTM – Zona 18	
273753.95 E	8945082.25 S

Fuente: Elaboración propia.

Figura n.º 16. Ubicación de la minera Antamina en la región Áncash.



Fuente: Elaboración propia.

5.1.2 Ubicación política.

Debido a la gran envergadura que alcanza la empresa minera esta influye inevitablemente en el desarrollo de su entorno, de forma económica, social y política.

Como ya es conocido en nuestra realidad social, los conflictos que se vienen desarrollando a lo largo del territorio peruano han desacelerado grandemente a la industria minera, sin embargo, Antamina es un ejemplo de calidad de gestión social y debido a esta gestión la armonía con las zonas de influencia se encuentra en equilibrio. Otorgando de esta manera tranquilidad a la minera para ejecutar sus operaciones.

La región de Áncash se ha visto beneficiada desde que inicio el proyecto minero, pues a la fecha el mayor problema de la minera es el conflicto laboral con el sindicato de trabajadores de Antamina.

En cuanto a los problemas medioambientales, se han presentado tres a la fecha, uno en el año 2007 que no superó las manifestaciones por parte de los vecinos que acusaban a la mina de contaminar y dañar el medioambiente, el segundo hecho en el año 2009, en el que los vecinos acusaban a la empresa de incumplir sus promesas y seguir contaminando el medioambiente en esta ocasión se suscitaron actos de violencia por los enfrentamientos entre la policía y los manifestantes dejando un saldo de siete campesinos heridos. En el año 2012 debido a un vertido de concentrado de cobre en el distrito de Cajacay el ministerio del ambiente multó con el pago de 77,000.00 dólares a la empresa. Ante esta situación, Antamina conformo una comisión de salud, conformada por autoridades locales, representantes de la comunidad, iglesia, el Ministerio de Salud y prensa.

5.2 Accesibilidad.

La ruta de transporte para los trabajadores de la empresa, inicia en el primer tramo Lima – Pativilca, que parte desde la agencia Cruz del Sur ubicada en la Av. Javier Prado en el distrito de La Victoria en Lima, con vía asfaltada por la Panamericana Norte hasta el kilómetro 205, lugar en el que inicia el segundo tramo Pativilca – Conococha, con 115 km de vía asfaltada que asciende describiendo un trayecto sinuoso hacia la cordillera hasta el distrito de Conococha, donde inicia el tercer tramo Conococha – Antarraga con 85 km de vía asfaltada que llega hasta el distrito con el

mismo nombre, desde este punto inicia el último tramo con 15 km de vía afirmada que asciende hasta llegar a los 4300 msnm donde se ubican las instalaciones de la empresa.

Tabla n.º 10. Se muestra los cuatro tramos de la ruta Lima – Antamina.

Nº	Tramo	vía	distancia (km)
1	Lima - Pativilca	Asfaltada	205
2	Pativilca - Conococha	Asfaltada	115
3	Conococha - Antarraga	Asfaltada	85
4	Antarraga - Antamina	Afirmada	15
Total			420

Fuente: Elaboración propia.

5.3 Relieve topográfico.

La fisiología de la provincia de San Marcos se caracteriza por presentar montañas estructurales y denutativas que abarcan grandes extensiones alcanzando aproximadamente al 55% del área total de la provincia.

Un valle aluvial con suelos de incipiente desarrollo, profundidad moderada, de textura moderadamente gruesa, drenaje natural.

Montaña glacial que comprende el paisaje fisiográfico que se distribuye entre las altas montañas de la cordillera central en el lado norte y oeste de la provincia.

5.4 Diagnostico Situacional.

5.4.1 Descripción de la empresa.

Antamina es un complejo minero polimetálico que produce concentrados de cobre, zinc, molibdeno, plata y plomo. La mina está ubicada en el distrito de San Marcos, provincia de Huari en la Región Ancash, a 200 km. de la ciudad de Huaraz y a una altitud promedio de 4,300 msnm. Además, también cuenta con el puerto de embarque Punta Lobitos, ubicado en la provincia costera de Huarvey.

Esta empresa ha realizado una de las mayores inversiones mineras en la historia del Perú: 3,600 millones de dólares que incluye lo invertido en la expansión de sus operaciones. Además, en la actualidad, es uno de los mayores productores peruanos de concentrados de cobre y zinc y una de las diez minas más grandes del mundo en términos de volumen de producción.

Antamina es una empresa constituida bajo las leyes peruanas, con trabajadores peruanos que día a día buscan hacer del Perú un mejor país. Asimismo, surgió como producto de una alianza estratégica entre cuatro empresas líderes en el sector minero mundial.

Los accionistas de Antamina son:

BHP Billiton (33.75%)

Glencore (33.75%)

Teck (22.5%)

Mitsubishi (10%).

5.4.2 Perfil organizacional.

Misión.

Logramos resultados extraordinarios y predecibles en salud y seguridad, medio ambiente, relaciones comunitarias, calidad, y eficiencia., con el compromiso, participación y liderazgo de nuestra gente.

Visión.

Ejemplo peruano de excelencia minera en el mundo. Extraordinarios líderes transformando retos en éxitos. ¡Trabajando por el desarrollo del mañana...ahora!

Valores.

- Salud y seguridad industrial. Asumimos la salud y la seguridad industrial en todas nuestras acciones y decisiones, protegiendo proactivamente a las personas y a la propiedad.
- Integridad. Somos nuestra palabra, honramos nuestros compromisos y cumplimos con las leyes y las políticas corporativas.
- Responsabilidad. Somos responsables de nuestros actos y sus consecuencias y de la administración eficiente de los recursos, operando con responsabilidad social y ambiental, promoviendo el desarrollo sostenible.
- Respeto y reconocimiento. Reconocemos los logros de cada uno, respetando las tradiciones y promovemos una cultura donde las ideas y contribuciones se valoran.

- Aprendizaje continuo. Promovemos una cultura de aprendizaje y mejora continua para nuestro equipo, socios estratégicos, clientes e industria, optimizando los procesos y el uso de la tecnología.
- Excelente desempeño e innovación. Creamos un ambiente apropiado donde surgen ideas y métodos innovadores para mejorar nuestros procesos.

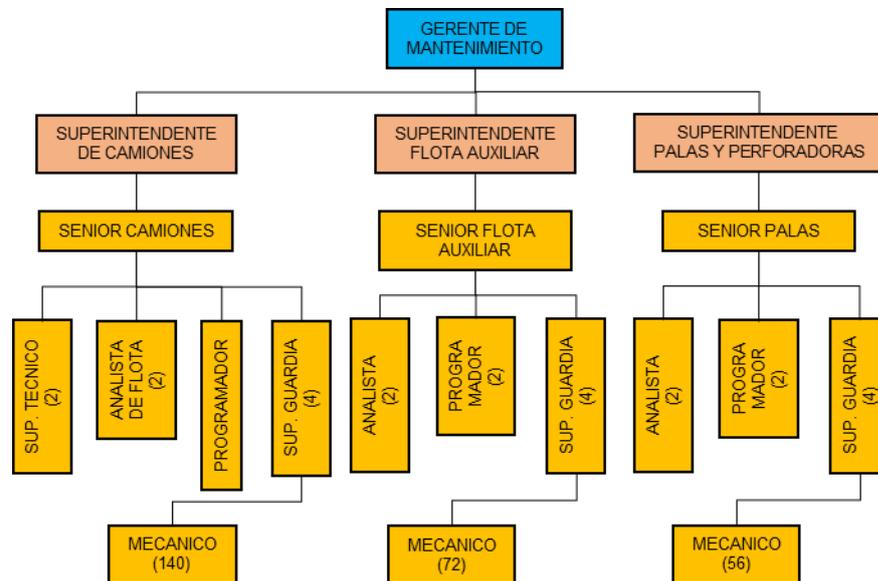
Organigrama de la empresa Antamina.

El área de Mantenimiento Camiones, es la responsable de ejecutar el mantenimiento mecánico de la flota de acarreo de ANTAMINA el cual consta de 80 camiones KOMATSU 930E.

El grupo de mantenimiento está constituido por cuatro guardias, las cuales tienen un régimen de trabajo de 10 x 10 esto quiere decir diez días de trabajo, de los cuales los primeros cinco días son de turno diurno y los cinco días restantes de turno nocturno, los otros diez días, corresponden al descanso del trabajador.

Cada guardia consta de personal para realizar trabajos de mantenimiento programado, personal para atender paradas no programadas en campo, con especialistas en electricidad, sistema hidráulico, motores y especialistas predictivos.

Figura n.º 18. Organigrama gerencia de mantenimiento Antamina Perú SAC.



Fuente: Elaboración propia.

5.5 Resultado del diagnóstico.

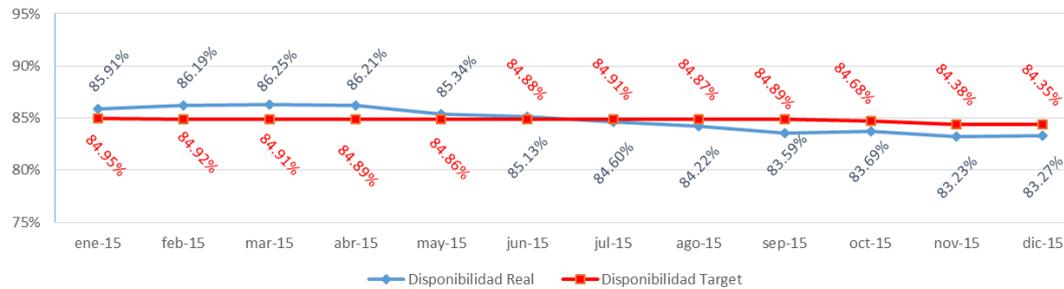
Luego de revisar el informe emitido por Gerencia Mantenimiento de la Cía. Minera Antamina, referido a la flota de camiones KOMATSU 930E, para el segundo semestre del año 2015, en el cual se da a conocer el descontento del cliente por el incumplimiento en la disponibilidad, lo que tenía como consecuencia, evidentes pérdidas en la producción, que aunque no eran críticas en ese momento ya se podía avizorar un resultado desfavorable para la empresa.

Debido a esto el equipo de mantenimiento se vio en la necesidad de implementar una mejora que permitiera solucionar el bajo índice de disponibilidad de la joven flota de camiones KOMATSU 930E, debido a que este indicador había caído por primera vez y en 0.3% por debajo de la disponibilidad objetivo programada por el área de Operaciones de la misma empresa que se establecía en 84.91% para ese mes.

En este sentido, se designó como encargado de hallar la mejor solución, a uno de los analistas de flota del área de mantenimiento de camiones y como plazo máximo, el tiempo de dos meses para desarrollar y poner en marcha la prueba del plan de mejora.

En la siguiente figura se puede apreciar, la variación de la disponibilidad durante el año 2015.

Figura n.º 19. Disponibilidad total flota KOMATSU 930E – 2015.



Fuente: Elaboración propia.

5.5.1 Paradas no programadas de camiones KOMATSU 930E en el año 2015.

Finalmente, después de revisar la información existente en la plataforma DISPATCH con el que cuenta la Cía. Minera Antamina y al analizar las razones por las que la flota en mención ha empezado a mostrar un bajo desempeño evidenciado en la baja disponibilidad, desde el mes de Julio del año 2015.

La lectura y análisis dio como resultado que la principal razón se debía a las paradas no programadas, la información en la siguiente tabla.

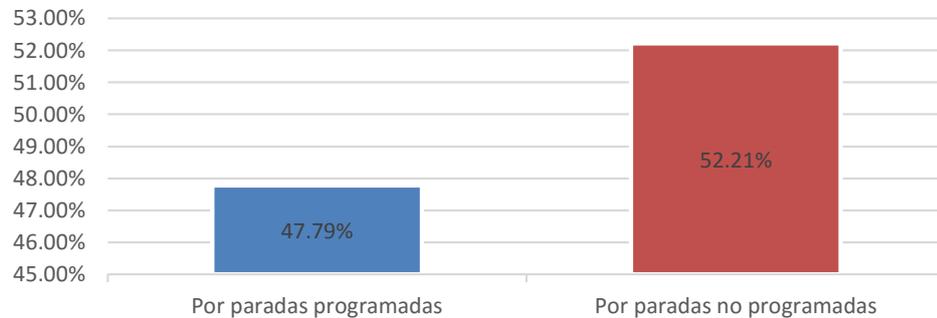
Tabla n.º 11. Porcentaje del tiempo de paradas año 2015.

Horas inoperativas	Porcentaje Año 2015
Por paradas Programadas (PM)	47.9%
Por paradas No Programadas (NP)	52.1%

Fuente: Elaboración propia.

En la figura n.º 20 se observa que del total de horas inoperativas es de 47.79% por paradas programadas y 52.21% para las paradas no programadas.

Figura n.º 20. Comparación de paradas de camiones KOMATSU 930E 2015.



Fuente: Elaboración propia.

5.5.2 Principal sistema con posibilidad de falla crítica.

En vista de que estos camiones funcionan impulsados por electricidad, cuentan con una fuente que genera dicha energía, pues están dotados con un motor Diesel Cummins QSK78 y a diferencia de los camiones convencionales, casi no presentan fallas en otros componentes, sino que la mayor parte de estas se concentran en el motor, convirtiendo a este, en un componente fundamental para la vida del camión. Se recabó la información estadística sobre el número de fallas y el número de horas por paradas no programadas en este importante componente.

Figura n.º 21. Motor Cummins QSK78.



Fuente: Elaboración propia.

5.5.2.1 Principales sistemas que componen el motor Cummins QSK78 del camión KOMATSU 930E.

El motor QSK78 del camión KOMATSU 930E está compuesto por seis sistemas principales con posibilidades de falla crítica que son evaluados de forma independiente, esto nos permite conocer con mayor detalle el tipo de falla que se presenta durante la operación.

Estos sistemas se muestran en la siguiente tabla:

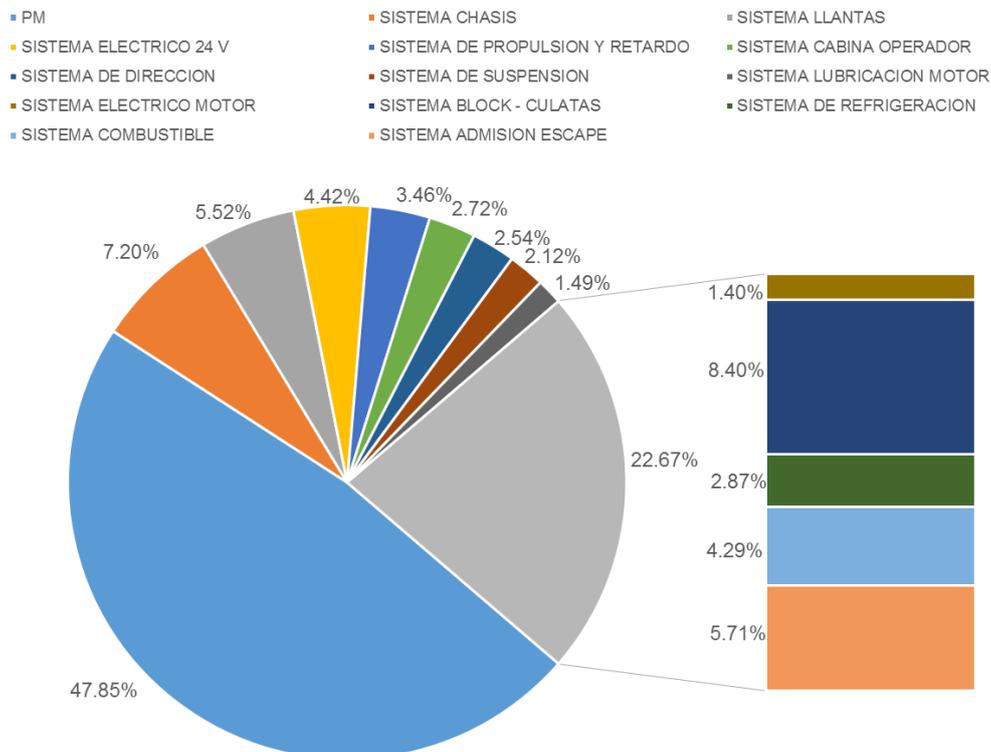
Tabla n.º 12. La siguiente tabla muestra los sistemas.

Sistemas del motor QSK78

Sistema admisión escape
 Sistema block culatas
 Sistema de combustible
 Sistema de refrigeración
 Sistema eléctrico motor
 Sistema lubricación motor

Fuente: Elaboración propia.

Figura n.º 22. El siguiente gráfico muestra la relación: paradas por motor y otros sistemas durante el año 2015.



Fuente: Elaboración propia.

En el segundo semestre del año 2015 se tuvieron paradas en la flota de camiones KOMATSU 930E por diferentes fallas en los sistemas del motor, en la tabla n.º 13 nos muestra la frecuencia de las paradas.

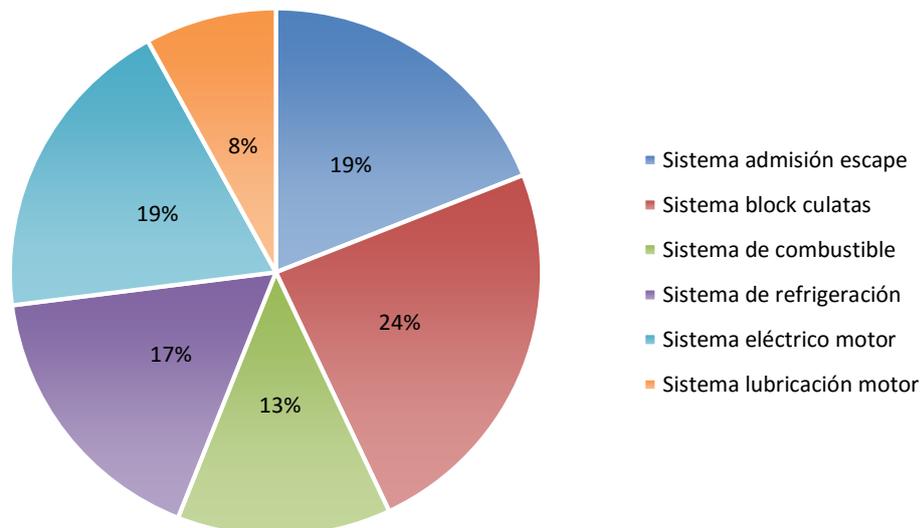
Tabla n.º 13. Paradas por motor de camiones KOMATSU 930E año 2015.

Tipo de fallas	Número de paradas
Sistema admisión escape	287
Sistema block culatas	362
Sistema de combustible	196
Sistema de refrigeración	257
Sistema eléctrico motor	287
Sistema lubricación motor	121
TOTAL	1510

Fuente: Elaboración propia.

En la figura n.º 23 nos muestra que las fallas por sistema block culatas son las que tienen la mayor frecuencia de paradas y las fallas por lubricación son las que tienen menor número de paradas.

Figura n.º 23. Porcentaje del número de paradas por sistema.



Fuente: Elaboración propia.

5.5.3 Horas inoperativas por cada sistema del motor Cummis QSK78.

Cuando hablamos del corazón del camión KOMATSU 930E, el motor Cummis QSK78 es inevitable detallar la cantidad de horas inoperativas durante el segundo semestre del año 2015 por cada sistema que lo compone, esta información se extrajo de la base de datos del área de mantenimiento de la Cía. Minera Antamina.

Tabla n.º 14. Horas inoperativas por paradas no programadas en motor Cummis.

Tipo de fallas	Horas Inoperativas
Sistema admisión escape	177.65
Sistema block culatas	224.4
Sistema de combustible	121.55
Sistema de refrigeración	158.95
Sistema eléctrico motor	177.65
Sistema lubricación motor	74.8
TOTAL	935

Fuente: Elaboración propia.

5.5.4 Costo de equipo inoperativo.

Para la Cía. Minera Antamina, cada hora inoperativa de un camión KOMATSU 930E tiene un costo de 1800 dólares.

Entonces sabemos que en el segundo semestre del año 2015 el costo por paradas no programadas asciende a un total de 1'683,000.00 dólares solo por paradas no programadas concernientes al sistema de motor Cummis QSK78.

Tabla n.º 15. Costo de paradas de camiones KOMATSU 930E.

Tipo de fallas	Horas Inoperativas	Costo \$
Sistema admisión escape	177.65	319770.00
Sistema block culatas	224.4	403920.00
Sistema de combustible	121.55	218790.00
Sistema de refrigeración	158.95	286110.00
Sistema eléctrico motor	177.65	319770.00
Sistema lubricación motor	74.8	134640.00
TOTAL	935	1683000.00

Fuente: Elaboración propia.

5.5.5 Casos críticos presentados antes de la implementación del sistema MineCare.

Presentaremos dos casos a modo de ejemplo que nos permitirá evidenciar de manera clara, como es que la falta de atención a una falla menor puede causar en cuestión de horas una falla crítica que tiene como resultado una parada por correctivo.

a) Caso 1.

El 28 de Julio del 2015, 02:23 horas, el operador del camión HT089 reporta bajo nivel de aceite de motor e inmediatamente el motor del equipo de detuvo.

Se reporta al área de mantenimiento la intervención el equipo ubicado en la Fase 4 del tajo Norte, detenido en la vía, equipo con carga de mineral hacia la Chancadora.

El área de mantenimiento evalúa el equipo al llegar al punto, encontrando derrame de aceite en la parte inferior del motor, el derrame dejó un rastro de 15 metros de longitud hasta la parte trasera del camión, esto se debió a la rotura del block en el momento en que el equipo se encontraba en movimiento.

La evaluación de la falla realizada con la descarga de información del ECM, indica que se presentó temperatura elevada del cilindro 9RB, causado por la fractura del resorte del inyector, que ocasiono excesiva inyección de combustible en la cámara de combustión, generando la dilución del aceite con el diésel, provocando la pérdida de la película de lubricante y posterior contactó del cigüeñal con el metal sin la debida lubricación, generando el agarrotamiento del metal y fractura de biela, esta rotura de biela provoco fractura del Monoblock en la posición 4LB.

Se determinó el traslado del equipo con la ayuda del remolque hacia el taller para el cambio de motor, el número de horas operativas del motor con falla es de 13,448.

El equipo salió operativo del taller el 31 de Julio del 2015 a las 14:37, sumando una detención total de 84.23 horas.

Figura n.º 24. Toma aérea de la ubicación del tajo norte con referencia a las coordenadas UTM 273753.95 E 8945082.25 S.



Fuente: Antamina.

Figura n.º 25. Fragmento de reporte semanal Cummins Perú, 28 al 03/08.



Fuente: Cummins Perú.

Figura n.º 26. Fragmento de reporte semanal Cummins Perú, 28 al 03/08.



Fuente: Cummins Perú.

Figura n.º 27. Presupuesto de reparación emitido por Cummins Perú.



PRESUPUESTO PR.Nº 0015-16

31 de agosto de 2015

OS : 200039611
 CLIENTE : COMPANIA MINERA ANTAMINA S.A
 TEL/FAX :
 AT. : Ingº Armando Moyonero / Daniel Bernuy
 CC. :

REFER.	Tipo Reparación	General	Motivo	OH
	Componente	Motor	Cargo	Cliente
	Modelo	QSK78	Equipo	Camion OHT
	Serie	66302434	Cod. Cliente	HT089
	Horas Comp.	13,448.0	Horas Equipo	13,457.0

Estimados señores:

Por la presente les hacemos llegar el presupuesto por la reparación en nuestro MRC HHP del motor indicado en la referencia.

1 Trabajos a realizar en nuestros Talleres:

- 1.1. Desarmado de motor
- 1.2. Elaboracion de listado de repuestos y de trabajos de terceros
- 1.3. Reparacion de motor
- 1.4. Prueba de motor en dinamómetro.

2 Presupuesto de reparación:

2.1. Mano de obra reparación	US\$	43,425.00
2.2. Varios		3,386.00
2.3. Trabajos de terceros		24,166.00
2.4. Repuestos Reparación Std		515,700.50
2.5. Descuento Culatas (18 und mejora de producto)		-31,500.00
2.6. Devolución cores		-46,674.00
	Sub Total Reparacion Std US \$	508,503.50
2.7. Repuestos Adicionales		
2.7.1. Repuestos Faltantes		2,904.76
	Sub total Adicionales US \$	2,904.76
2.8. Mejora de Producto		
2.8.1. Repuestos de riel de combustible	Qty 1.00	0.00
	Sub total Mejora de Producto US \$	0.00

Total Reparacion US \$ 511,408.26

Mas IGV

Fuente: Cummins Perú.

b) Caso 2.

Motor presenta excesivo humo en el tubo de escape posterior y ruido extraño (golpeteo) en el interior, se determina inspeccionar culatas.

Se encontró aceite entre el múltiple de escape y turbo posterior derecho RBR, Se inspeccionó el centrífugo, encontrando partículas metálicas, se desmonta tapas de balancines 1, 2 y 3 RB encontrando la varilla del inyector 2RB rota, esto ocasionó que se rompa el inserto guiador de la varilla de inyector, lo que a su vez permitió la filtración de aceite a los aftercooler.

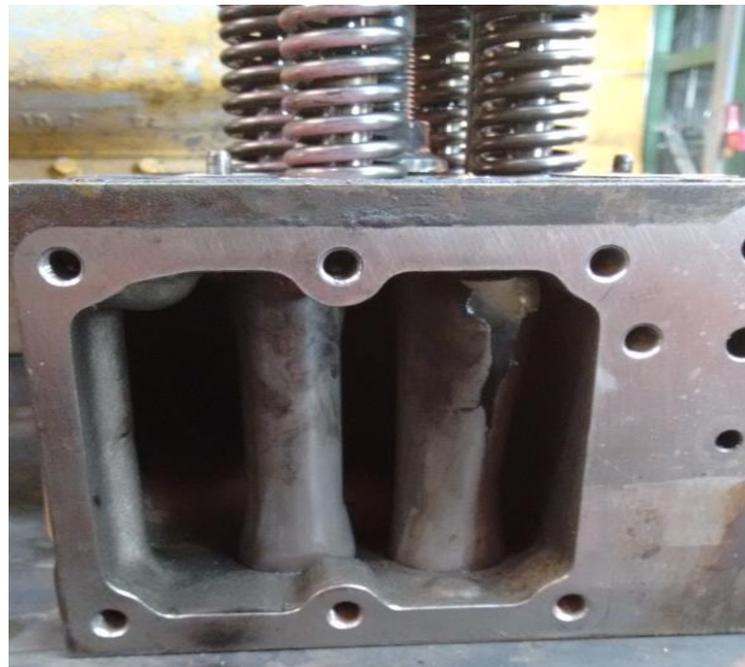
Componentes dañados: Varilla de empuje de inyector, inserto guizador de varilla de inyector.

Figura n.º 28. Varilla de empuje de inyector.



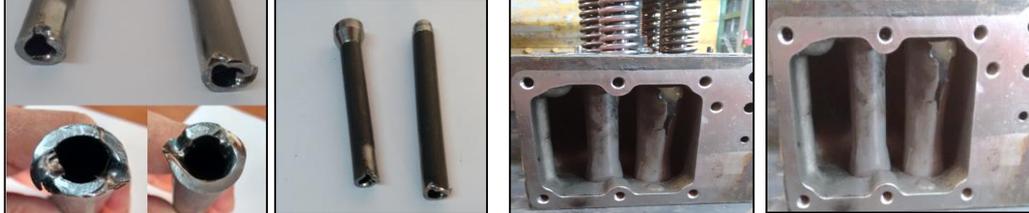
Fuente: Antamina.

Figura n.º 29. Inserto guizador de varilla de inyector.



Fuente: Antamina.

Figura n.º 30. Reporte de falla preliminar.

ANTIMINA		REPORTE DE FALLA PRELIMINAR				Mantenimiento Mina	Página: 1 de 1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
FRACTURA VARILLA DE EMPUJE DE INYECTOR																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
EQUIPO:	HT110	FLOTA:	930E	FECHA DE REPORTE:	31/07/2015	TIEMPO DETENCIÓN (H):	110																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
FECHA DE FALLA:	27/07/2015	Inicio:		3:36 a.m.	Fin:		NÚMERO DE REPORTE:																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
1. ANTECEDENTES				DESCRIPCIÓN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Origen del análisis de falla				1	2	3	(1) Falla súbita (2) Falla recurrente (3) Solicitud de una superintendencia																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
La falla se ha presentado antes? (Indicar frecuencia)				Si	No	N.A.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Se ha detectado alguna condición operativa anormal?				Si	No	N.A.	ELEVADO BLOW BY, EXCESO DE HUMO Y RUIDO EXTRAÑO (GOLPETEO) EN EL MOTOR																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
¿Afecta a la seguridad o medio ambiente?				Si	No	N.A.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
2. ALCANCE DE LA FALLA				DESCRIPCIÓN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Describir la falla				Motor presenta excesivo humo en el tubo de escape posterior y ruido extraño (golpeteo) en el interior, se determina inspeccionar culatas. Se encontro aceite entre el múltiple de escape y turbo posterior derecho RBR, Se inspeccionó el centrifugo, encontrando partículas metálicas. Se desmonta tapas de balancines 1, 2 y 3 RB encontrando la varilla del inyector 2RB rota, esto ocasionó que se rompa el inserto guizador de la varilla de inyector, permitiendo el pase de aceite a los aftercooler.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Línea del tiempo				1 2 3 4 5 6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Evento 1	ROTURA DE VARILLA DE INYECTOR (REUSADO, TIENE 10336 HORAS)			Evento 4	HUMO EN EXCESO POR TUBO DE ESCAPE																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Evento 2	ROTURA DE INSERTO DE VARILLA			Evento 5	BLOW BY ELEVADO.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Evento 3	PASE DE ACEITE A AFTERCOOLER			Evento 6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Componentes Dañados																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Item 1	VARILLA DE EMPUJE DE INYECTOR			Item 4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Item 2	ROTURA DE INSERTO DE VARILLA DE INYECTOR			Item 5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Item 3				Item 6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
3. ALCANCE DE LA REPARACION				DESCRIPCIÓN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Describir la acción correctiva				SE REALIZA EL CAMBIO DE CULATA, VARILLA DE INYECTOR, INYECTOR.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Componentes Cambiados																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Item 1				Item 4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Item 2				Item 5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Item 3				Item 6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Se ha realizado algunas pruebas				Si	No	N.A.	EN PROCESO DE ARMADO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
4. PROBABLE CAUSA DE LA FALLA				DESCRIPCIÓN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Describir las probables causas:				DAÑO A LA PARTE FRACTURADA NO PERMITE DETERMINAR LA CAUSA, HA SIDO BORRADO DEBIDO AL TRABAJO POSTERIOR DEL MOTOR. FRACTURA DE VARILLA EN EVALUACIÓN.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
5. OPORTUNIDADES IDENTIFICADAS				DESCRIPCIÓN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Describir las Oportunidades:				ENVÍO DE PARTE FRACTURADA A EVALUACIÓN METALGRÁFICA PARA DETERMINAR POSIBLE FALLA DE MANUFACTURA.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
6. RECOMENDACIONES				DESCRIPCIÓN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
1	SEGUIMIENTO DE LOS RESULTADOS DE ANÁLISIS A REALIZAR DE LAS PARTES.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
2	CUMMINS INDICA QUE PARTES SERAN ENVIADAS A ANÁLISIS METALGRÁFICO, COMPARTIRA INFORMACIÓN.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
7. FOTOS																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">HT110</th> <th colspan="14">COMPONENT METALOGRAPHY DATA</th> <th colspan="4">FILTROS - REJILLAS - ELC-VIMS</th> </tr> <tr> <th>EQUIPO/ID</th> <th>COMPONENTE</th> <th>ESTADO</th> <th>FECHA</th> <th>Oil Hour</th> <th>Comp. Hour</th> <th>Fe</th> <th>Al</th> <th>Cu</th> <th>Pb</th> <th>Sn</th> <th>Cr</th> <th>Si</th> <th>Na</th> <th>K</th> <th>PQ</th> <th>TBN</th> <th>Wat</th> <th>Dilu</th> <th>Visc</th> <th>Soot</th> <th>Oxi</th> <th>Nit</th> <th>Sulf</th> <th>Filtro</th> <th>Rejilla</th> <th>ELC</th> <th>VIM</th> </tr> <tr> <th>HT110</th> <th>HT110ENG2</th> <th>Caution</th> <th>7/27/2015</th> <th>432</th> <th>1441</th> <th>85.3</th> <th>1.1</th> <th>1.3</th> <th>0.5</th> <th>0.2</th> <th>0.40</th> <th>2.2</th> <th>2.5</th> <th>1.1</th> <th>25</th> <th>26</th> <th>14.4</th> <th>0.0</th> <th>0.0</th> <th>14.3</th> <th>0.59</th> <th>4.97</th> <th>8.59</th> <th>15.71</th> <th>NO</th> <th>NO</th> <th>NO</th> <th>NO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>7/12/2015</td> <td>276</td> <td>1284</td> <td>9.5</td> <td>0.9</td> <td>1.3</td> <td>1.1</td> <td>0.0</td> <td>0.30</td> <td>2.0</td> <td>2.5</td> <td>1.1</td> <td>25</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0.0</td> <td>0.00</td> <td>14.0</td> <td>0.39</td> <td>4.57</td> <td>7.80</td> <td>12.31</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>7/11/2015</td> <td>264</td> <td>1273</td> <td>0.2</td> <td>1.0</td> <td>1.3</td> <td>0.6</td> <td>0.3</td> <td>0.20</td> <td>1.9</td> <td>2.6</td> <td>1.0</td> <td>31</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0.0</td> <td>0.00</td> <td>14.0</td> <td>0.37</td> <td>3.13</td> <td>5.32</td> <td>10.41</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>6/27/2015</td> <td>514</td> <td>1009</td> <td>17.2</td> <td>1.2</td> <td>2.5</td> <td>2.3</td> <td>0.0</td> <td>0.40</td> <td>4.5</td> <td>3.1</td> <td>1.8</td> <td>25</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0.0</td> <td>0.00</td> <td>14.0</td> <td>0.50</td> <td>4.97</td> <td>8.59</td> <td>15.71</td> <td>NO</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>6/26/2015</td> <td>487</td> <td>982</td> <td>16.0</td> <td>1.2</td> <td>2.2</td> <td>2.3</td> <td>0.3</td> <td>0.40</td> <td>4.2</td> <td>2.6</td> <td>0.9</td> <td>23</td> <td>3.45</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0.0</td> <td>0.00</td> <td>14.0</td> <td>0.50</td> <td>4.96</td> <td>8.74</td> <td>15.71</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>6/14/2015</td> <td>280</td> <td>775</td> <td>10.6</td> <td>1.1</td> <td>1.4</td> <td>0.7</td> <td>0.0</td> <td>0.30</td> <td>4.8</td> <td>2.5</td> <td>1.8</td> <td>18</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0.0</td> <td>0.00</td> <td>14.2</td> <td>0.42</td> <td>3.22</td> <td>6.93</td> <td>10.82</td> <td>F Motor</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>6/13/2015</td> <td>240</td> <td>735</td> <td>8.6</td> <td>1.0</td> <td>1.3</td> <td>1.1</td> <td>0.0</td> <td>0.20</td> <td>2.8</td> <td>2.3</td> <td>1.6</td> <td>20</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0.0</td> <td>0.00</td> <td>14.3</td> <td>0.36</td> <td>2.76</td> <td>6.44</td> <td>0.84</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>5/31/2015</td> <td>438</td> <td>495</td> <td>16.3</td> <td>1.0</td> <td>2.6</td> <td>1.0</td> <td>0.0</td> <td>0.30</td> <td>4.9</td> <td>2.5</td> <td>1.2</td> <td>28</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0.0</td> <td>0.00</td> <td>14.4</td> <td>0.54</td> <td>3.86</td> <td>7.77</td> <td>11.93</td> <td>NO</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>5/29/2015</td> <td>393</td> <td>450</td> <td>13.8</td> <td>1.0</td> <td>2.3</td> <td>0.9</td> <td>0.3</td> <td>0.20</td> <td>5.0</td> <td>2.9</td> <td>1.6</td> <td>26</td> <td>8.64</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0.0</td> <td>0.00</td> <td>14.4</td> <td>0.48</td> <td>3.22</td> <td>7.16</td> <td>10.85</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>5/19/2015</td> <td>263</td> <td>253</td> <td>18.3</td> <td>1.0</td> <td>2.7</td> <td>1.4</td> <td>0.2</td> <td>0.20</td> <td>4.8</td> <td>2.3</td> <td>2.0</td> <td>22</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0.0</td> <td>0.00</td> <td>14.4</td> <td>0.27</td> <td>1.86</td> <td>4.51</td> <td>12.26</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>								HT110		COMPONENT METALOGRAPHY DATA														FILTROS - REJILLAS - ELC-VIMS				EQUIPO/ID	COMPONENTE	ESTADO	FECHA	Oil Hour	Comp. Hour	Fe	Al	Cu	Pb	Sn	Cr	Si	Na	K	PQ	TBN	Wat	Dilu	Visc	Soot	Oxi	Nit	Sulf	Filtro	Rejilla	ELC	VIM	HT110	HT110ENG2	Caution	7/27/2015	432	1441	85.3	1.1	1.3	0.5	0.2	0.40	2.2	2.5	1.1	25	26	14.4	0.0	0.0	14.3	0.59	4.97	8.59	15.71	NO	NO	NO	NO				7/12/2015	276	1284	9.5	0.9	1.3	1.1	0.0	0.30	2.0	2.5	1.1	25					0.0	0.00	14.0	0.39	4.57	7.80	12.31							7/11/2015	264	1273	0.2	1.0	1.3	0.6	0.3	0.20	1.9	2.6	1.0	31					0.0	0.00	14.0	0.37	3.13	5.32	10.41							6/27/2015	514	1009	17.2	1.2	2.5	2.3	0.0	0.40	4.5	3.1	1.8	25					0.0	0.00	14.0	0.50	4.97	8.59	15.71	NO							6/26/2015	487	982	16.0	1.2	2.2	2.3	0.3	0.40	4.2	2.6	0.9	23	3.45				0.0	0.00	14.0	0.50	4.96	8.74	15.71								6/14/2015	280	775	10.6	1.1	1.4	0.7	0.0	0.30	4.8	2.5	1.8	18					0.0	0.00	14.2	0.42	3.22	6.93	10.82	F Motor							6/13/2015	240	735	8.6	1.0	1.3	1.1	0.0	0.20	2.8	2.3	1.6	20					0.0	0.00	14.3	0.36	2.76	6.44	0.84								5/31/2015	438	495	16.3	1.0	2.6	1.0	0.0	0.30	4.9	2.5	1.2	28					0.0	0.00	14.4	0.54	3.86	7.77	11.93	NO							5/29/2015	393	450	13.8	1.0	2.3	0.9	0.3	0.20	5.0	2.9	1.6	26	8.64				0.0	0.00	14.4	0.48	3.22	7.16	10.85								5/19/2015	263	253	18.3	1.0	2.7	1.4	0.2	0.20	4.8	2.3	2.0	22					0.0	0.00	14.4	0.27	1.86	4.51	12.26				
HT110		COMPONENT METALOGRAPHY DATA														FILTROS - REJILLAS - ELC-VIMS																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
EQUIPO/ID	COMPONENTE	ESTADO	FECHA	Oil Hour	Comp. Hour	Fe	Al	Cu	Pb	Sn	Cr	Si	Na	K	PQ	TBN	Wat	Dilu	Visc	Soot	Oxi	Nit	Sulf	Filtro	Rejilla	ELC	VIM																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
HT110	HT110ENG2	Caution	7/27/2015	432	1441	85.3	1.1	1.3	0.5	0.2	0.40	2.2	2.5	1.1	25	26	14.4	0.0	0.0	14.3	0.59	4.97	8.59	15.71	NO	NO	NO	NO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
			7/12/2015	276	1284	9.5	0.9	1.3	1.1	0.0	0.30	2.0	2.5	1.1	25					0.0	0.00	14.0	0.39	4.57	7.80	12.31																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
			7/11/2015	264	1273	0.2	1.0	1.3	0.6	0.3	0.20	1.9	2.6	1.0	31					0.0	0.00	14.0	0.37	3.13	5.32	10.41																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
			6/27/2015	514	1009	17.2	1.2	2.5	2.3	0.0	0.40	4.5	3.1	1.8	25					0.0	0.00	14.0	0.50	4.97	8.59	15.71	NO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
			6/26/2015	487	982	16.0	1.2	2.2	2.3	0.3	0.40	4.2	2.6	0.9	23	3.45				0.0	0.00	14.0	0.50	4.96	8.74	15.71																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
			6/14/2015	280	775	10.6	1.1	1.4	0.7	0.0	0.30	4.8	2.5	1.8	18					0.0	0.00	14.2	0.42	3.22	6.93	10.82	F Motor																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
			6/13/2015	240	735	8.6	1.0	1.3	1.1	0.0	0.20	2.8	2.3	1.6	20					0.0	0.00	14.3	0.36	2.76	6.44	0.84																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
			5/31/2015	438	495	16.3	1.0	2.6	1.0	0.0	0.30	4.9	2.5	1.2	28					0.0	0.00	14.4	0.54	3.86	7.77	11.93	NO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
			5/29/2015	393	450	13.8	1.0	2.3	0.9	0.3	0.20	5.0	2.9	1.6	26	8.64				0.0	0.00	14.4	0.48	3.22	7.16	10.85																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
			5/19/2015	263	253	18.3	1.0	2.7	1.4	0.2	0.20	4.8	2.3	2.0	22					0.0	0.00	14.4	0.27	1.86	4.51	12.26																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															

Fuente: (Antamina, 2016).

5.5.6 Horas hombre dedicadas a la descarga manual de datos por camión KOMATSU 930E.

El proceso de descarga manual de información, requiere de 30 minutos por cada camión.

Uno de los objetivos del proyecto es eliminar este tiempo que acumula un total de 5 horas hombre, requiriéndose esta descarga, cuatro veces al mes sumando 20 horas hombre en total.

Figura n.º 31. Diagrama de operaciones para descarga de data del cada camión.

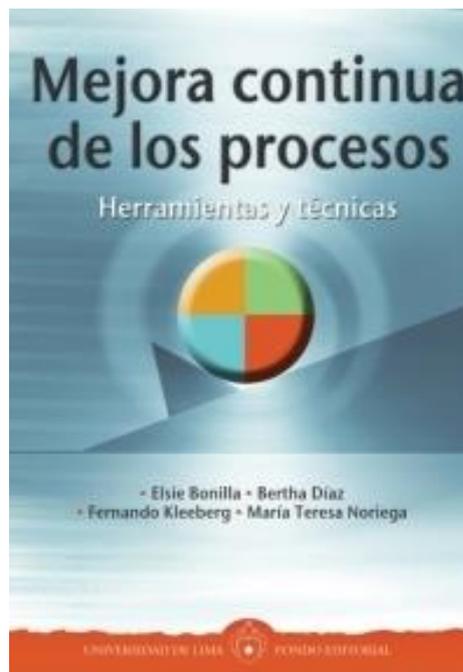


Fuente: Elaboración propia.

5.6 Aplicación de los siete pasos.

Se desarrollara en base al libro de Mejora Continua de los procesos herramientas y técnicas de Bonilla E. et al (2012)

Figura n.º 32. Portada del libro de Mejora continua de los procesos.



Fuente: Universidad de Lima.

5.6.1 Selección del problema.

5.6.1.1 Reflexión sobre la misión, visión, objetivos y las estrategias de la organización.

Siendo la Cía. Minera Antamina una de las más grandes empresas mineras del Perú, con una clara visión de excelencia minera que sirva de ejemplo y referencia a las demás empresas en el rubro y afines, no puede permitirse un problema en la disponibilidad que afecte de manera considerable a la economía de la misma.

Además cuenta con una misión muy sensata que busca el logro de objetivos relacionados a la salud y seguridad ocupacional, relaciones comunitarias, calidad, y eficiencia con el compromiso, participación y liderazgo de la gente que trabaja en el equipo, también cuenta con valores claramente definidos.

Todo esto no solo debe quedar en los registros de la empresa, sino que debe ser llevado a la práctica de forma directa en la solución de sus problemas.

5.6.1.2 Descripción y caracterización del proceso que se debe mejorar.

De la información mostrada y analizada líneas arriba comprendemos que el principal problema, causante de la baja disponibilidad en la flota KOMATSU 930E por agrupar la mayor cantidad de horas inoperativas por paradas no programadas que debemos atacar, es el sistema motor.

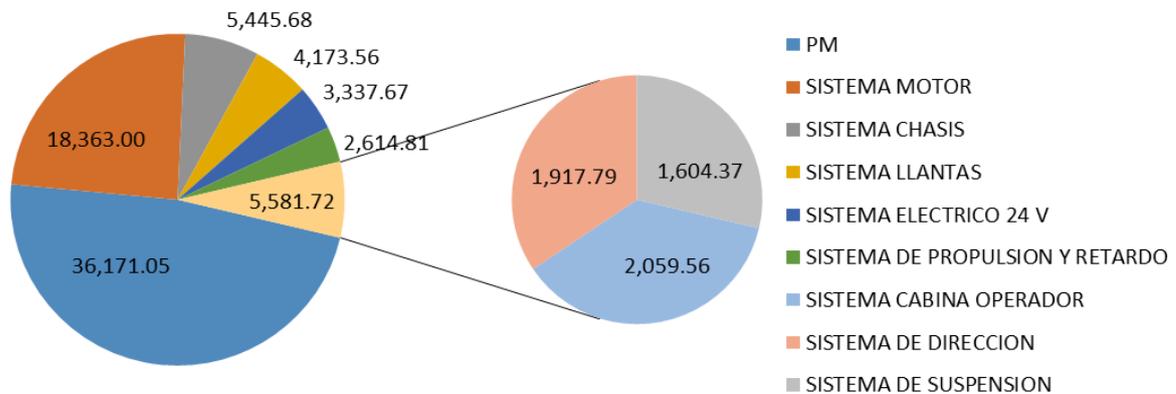
Como se observa en la figura n.º 33 las fallas por sistemas de: admisión escape, block culatas, combustible, refrigeración, eléctrico motor y lubricación de motor que en conjunto conforman al sistema motor, son las que poseen mayor incidencia en las paradas de los equipos, el número de horas acumuladas suman 18,363.00 que representan un total de 33'053,400.00 dólares que ha dejado de percibir por concepto de equipo inoperativo. Es evidente que esto representa una gran pérdida para la empresa y es un problema que se debe abordar de manera inmediata.

Figura n.º 33. Disponibilidad mensual de los diez camiones KOMATSU 930E.



Fuente: Elaboración propia.

Figura n.º 34. Horas inoperativas de la flota KOMATSU 930E en el año 2015.



Fuente: Elaboración propia.

5.6.1.3 Identificación de oportunidades de mejora (problemas)

Como se mostró en el Caso 1 del punto 5.5.5 desarrollado anteriormente, en el que se presenta el ejemplo de una falla crítica que finalmente provocó la parada del camión KOMATSU 930E HT089, el mismo que luego de haber sido evaluado por el equipo de mantenimiento, dio como resultado que la falla inicial no fue grave, sino que no se pudo prever que con el pasar de las horas esta falla menor terminaría por convertirse en una falla que impactaría de manera considerable en el mantenimiento del equipo, tanto por las horas que este dejó de trabajar, como por el costo que acarrearía poner el motor Cummins QSK78 nuevamente en funcionamiento.

Si bien el camión tiene un sistema de monitoreo interno del cual los mecánicos del equipo de mantenimiento descargan la información de forma manual para poder alimentar el sistema SPECTO que es el software propio de KOMATSU, para realizar los diagnósticos necesarios para el mantenimiento. Este proceso en la mayoría de las ocasiones muestra los eventos con fallas menores cuando ya se convirtieron en fallas críticas, es por este motivo que podemos determinar que la mejor forma de evitar este tipo de fallas es monitoreando en tiempo real el funcionamiento de los sistemas del camión KOMATSU, específicamente para este trabajo de investigación se hará la prueba en el sistema de motor, por lo evaluado anteriormente y por su criticidad.

5.6.1.4 Selección del problema principal.

Sabedores de que la baja disponibilidad de la flota de camiones KOMATSU 930E es nuestro principal problema y motivo por el cual se inició la investigación y la búsqueda de alternativas de solución, lo abordaremos implementando el sistema MineCare, para lograr el control de las condiciones de funcionamiento del equipo en tiempo real, esto nos permitirá conocer los eventos y lograr prevenir posibles fallas críticas que terminen en un número de horas inoperativas indeseable.

5.6.2 Comprender el problema y establecer una meta.

Este paso se desarrolla en las cinco actividades siguientes:

5.6.2.1 Comprender el impacto del problema.

Como resultado de las observaciones realizadas en la información vertida líneas arriba, comprendemos que el problema de la baja disponibilidad afecta no solo la economía de la empresa, sino que a su vez afecta a la imagen del equipo de mantenimiento que es quien está a cargo del cuidado de la flota KOMATSU 930E que solo en el año 2015 reportó pérdidas por un total de 33'053,400.00 dólares, basados en la información confidencial del Área de Finanzas que indica que cada hora inoperativa de un camión KOMATSU 930E equivale a 1,800 dólares, entonces tenemos entendido que las 18,363.00 acumuladas en el año 2015, no deben repetirse al cierre del año 2016.

El objetivo de este proyecto es lograr incrementar la disponibilidad de la flota de acarreo KOMATSU 930E, conseguir llevar y mantener esta disponibilidad por encima de la que es programada por el área de operaciones (Disponibilidad Objetivo) desde el momento en que se implemente el sistema MineCare y se inicie el monitoreo en lo que va del año.

5.6.2.2 Determinar las variables que se tratarán y coleccionar registros.

En este punto sabemos que el indicador que nos dará a conocer el resultado del estudio será la disponibilidad, porque nuestro propósito es lograr que se incremente considerablemente al grado de equiparse a la que nos exige el cliente y logrando superarlo para luego mantenerse en el tiempo.

5.6.2.3 Subdividir el problema en estratos para una mejor comprensión.

Dada la magnitud y complejidad del problema, en ocasiones es necesario segmentarlo para lograr una solución más prolija y eficiente, sin embargo en esta oportunidad el problema es específico, y aun considerándolo de este modo el impacto que se logrará al solucionarlo va a ser grande, en vista de esta apreciación, no será necesario realizar una subdivisión.

5.6.2.4 Identificar los factores del proceso vinculados al problema.

Los procesos vinculados al problema comprenden la razón por la cual existen estos camiones en la Cía. Minera Antamina, pues el proceso de movimiento de tierras, en específico el del acarreo, es el que se ve afectado por el mal funcionamiento de esta flota de camiones y es debido a este trabajo el desgaste de las unidades, ahora bien el proceso vinculado y que sufre directamente las consecuencias de dichas fallas es el de mantenimiento, pues es el responsable de mantener operativa la flota.

5.6.2.5 Decidir la meta que se debe lograr.

Nuestra meta es incrementar la disponibilidad y para ello debemos implementar una mejora en el proceso de mantenimiento y este consta en la implementación de un sistema que nos va a permitir controlar el funcionamiento de los camiones KOMATSU 930E, en este caso de prueba, serán los 10 camiones elegidos por gerencia de mantenimiento.

5.7 Propuesta de mejora.

Nuestra propuesta consiste en la implementación del sistema MineCare al programa de mantenimiento, con la finalidad de monitorear en tiempo real el funcionamiento de cada camión KOMATSU 930E.

5.7.1 Elaboración del cronograma de desarrollo del proyecto.

En la figura n.º 34 se muestra el diagrama de Gantt del desarrollo de la implementación del sistema MineCare, en los 10 camiones seleccionados de la flota KOMATSU 930E.

5.7.2 Analizar las causas del problema.

Como reza el dicho, "más vale prevenir que lamentar", es precisamente la raíz de nuestro problema, todos los eventos que en su desarrollo puedan llegar a convertirse en problemas que generen paradas por fallas críticas, tiene el camino libre para su desfavorable conclusión. Nombramos entonces al principal problema:

- Prevención.

Otro problema que ya se ha empezado a atacar es la capacitación de los operadores, que muchas veces por falta de criterio y a pesar de que el conocimiento ya se les ha impartido, hacen caso omiso a las alertas que reciben en la cabina del camión por parte del propio sistema de KOMATSU. Entonces enfrentamos un segundo problema y lo denominamos:

- Descuido.

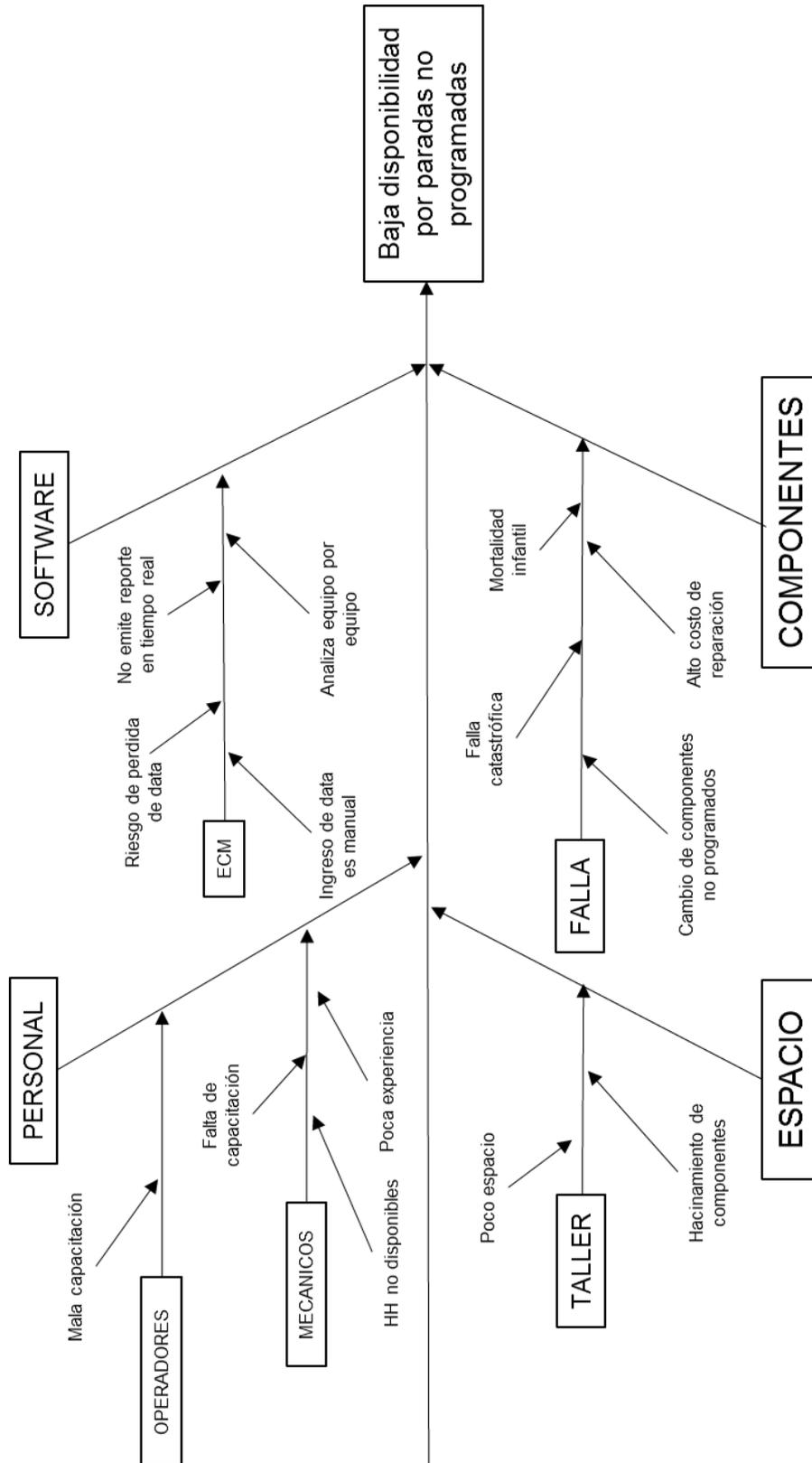
Un problema que a diferencia de los anteriores escapa por completo a nuestras posibilidades de solución es el que se gesta desde el nacimiento de estas poderosas máquinas y este problema solo le concierne a KOMATSU, ya que el equipo de mantenimiento ha determinado que las fallas iniciales muchas veces se dan a causa del mal diseño de los componentes del camión. Entonces tenemos el problema denominado:

- Mal diseño.

También enfrentamos un problema externo que se evidenció a raíz de este trabajo y cuyo pedido ya ha sido remitido por nuestro Gerente de Mantenimiento al Gerente de Proyectos de Infraestructura. El cual dio Luz verde al pedido de ampliación de los talleres del área de camiones de la Cía. Minera Antamina ubicada en el distrito de San Marcos, provincia de Huari en la Región Ancash. Entonces tenemos el último problema influyente en la baja disponibilidad y es:

- Falta de espacio.

Figura n.º 36. Diagrama de Ishikawa con las causas raíz del problema principal.



Fuente: Elaboración propia.

5.7.3 Implementar y verificar resultados.

La implementación se realizara de acuerdo al diagrama de Gantt que se presentó líneas arriba y los procedimientos se mostrarán a grandes rasgos en las siguientes líneas. Cabe mencionar las tareas para la implementación del sistema MineCare no se realizará con personal de la Cía. Minera Antamina, debido a que el contrato de servicio incluye personal, mano de obra, hardware, software, herramientas y consumibles, es por esta razón que solo detallaremos de forma superficial los procedimientos.

5.7.3.1 Requerimientos de instalación.

a) Recurso humano.

- Personal de Soldadura (2 técnicos).

El personal deberá estar capacitado para realizar trabajos de soldadura, según los requisitos dictados por Antamina.

- Personal Técnico de Apoyo. (2 técnicos)

El personal técnico contará con los cursos requeridos para la realización de trabajos de instalación en Plataforma Armado.

Nota: Los técnicos de apoyo realizarán labores dirigidas por el personal encargado en la instalación del Sistema MineCare en el equipo móvil (KOMATSU 930E).

b) Facilidades requeridas por Modular al momento de la instalación de Sistema MineCare.

- Disponibilidad de equipo Móvil.

El tiempo estimado para la instalación es de 8 a 10 horas; se realizará los siguientes procedimientos: soldadura de unión, fijación de soporte de antenas, fijación de soporte de PTX'B en la parte superior de cabina, cableado interno en cabina, cableado en Tablero de Máquina, pruebas de recepción de información del equipo, pruebas de comunicación con red de Antamina y verificación de la instalación por personal de Telecomunicación - Antamina.

Nota: El equipo debe ser proporcionado al personal de Modular en el área de trabajo (Plataforma DISPATCH), al promediar a las 8 de la mañana para así evitar inconvenientes y/o demoras ocasionados por factor climático (Alerta Roja), fenómeno presentado continuamente en mina.

- Equipo Móvil energizado.

Personal de Modular conectará alimentación del puerto de energía 24v DC del tablero de máquina, para energizar el computador PTX'B.

- Equipo Móvil con Tolva.

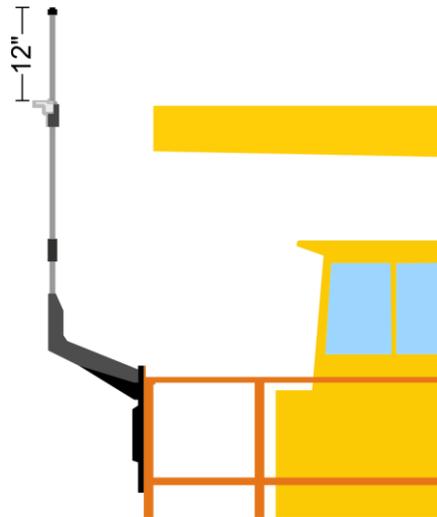
Es preciso mencionar que la antena WIFI supera aproximadamente en 30cm al nivel de la tolva del camión para la comunicación WIFI a 360°. Asimismo la altura promedio para la antena GPS es a nivel de la víscera del camión, lo cual permite a la antena captar con mayor facilidad la cantidad de satélites necesarios para la conexión, para mayor referencia se muestra la figura n.º 37.

Figura n.º 37. Colocación de antena.



Fuente: Elaboración propia.

Figura n.º 38. Altura estimada para la colocación de antena.



Fuente: Elaboración propia.

- Unión de $\frac{3}{4}$ soldada en plataforma de camión.

Se precisa que antes de la entrega del camión KOMATSU 930E al área mantenimiento, la unión se encuentre previamente soldada para así no tener inconvenientes al momento de realizar la instalación respectiva; en la figura n.º 39 se muestra la posición en la cual va soldada dicha unión.

Figura n.º 39. Posición de bases a soldar en camión KOMATSU 930E.

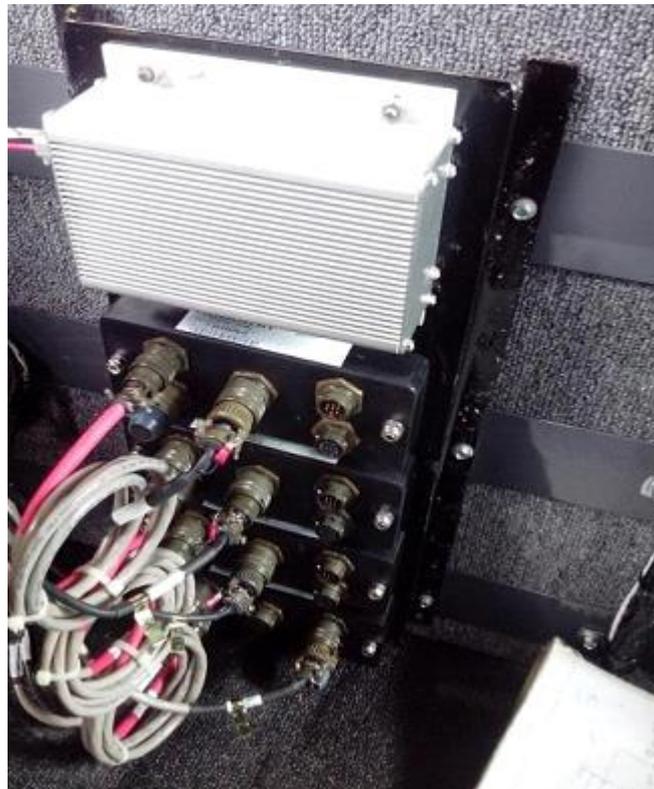


Fuente: Elaboración propia.

- Plancha de soporte para interfaces y fuente de alimentación.

Así mismo se requiere la fabricación de una base de metal con los agujeros respectivos para la colocación de fuente de alimentación e interfaces; las dimensiones de la plancha de metal son tomadas de acuerdo a unidad en la que se realizará la instalación. En la figura n.º 40 se muestra la plancha metálica.

Figura n.º 40. Plancha metálica que será fabricada.



Fuente: Elaboración propia.

5.7.3.2 Procedimientos de instalación de sistema Intellmine ® PTX-B/ 7.

a) Fijación de computador PTX-B/ 7.

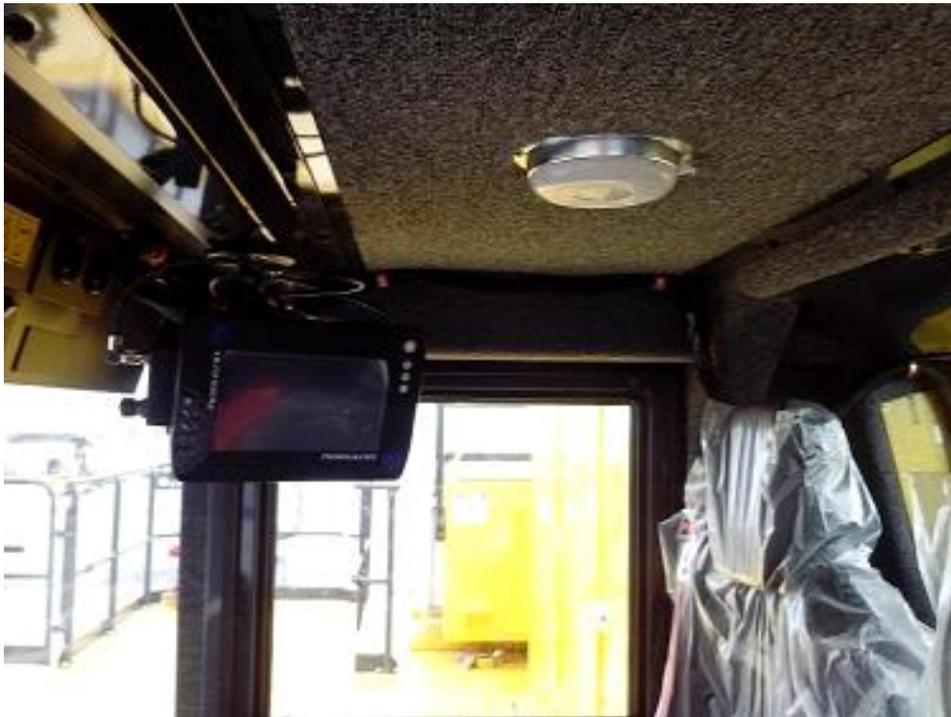
Para la instalación del computador PTX-B se considerara los siguientes lineamientos:

- El hardware del sistema no debe bloquear la visión del operador hacia el exterior.
- El hardware del sistema no debe obstaculizar los movimientos normales del operador en el vehículo.

- Los cables instalados no deben interferir con los mecanismos del vehículo.

La posición del computador en el camión KOMATSU 930E es coordinado con personal de operaciones, entrenamiento y telecomunicaciones mina. El computador se instala en la parte superior derecha de la cabina del operador tal como se puede observar en la siguiente figura.

Figura n.º 41. Computador fijado en parte superior de cabina.



Fuente: Elaboración propia.

b) Recorrido de cableado.

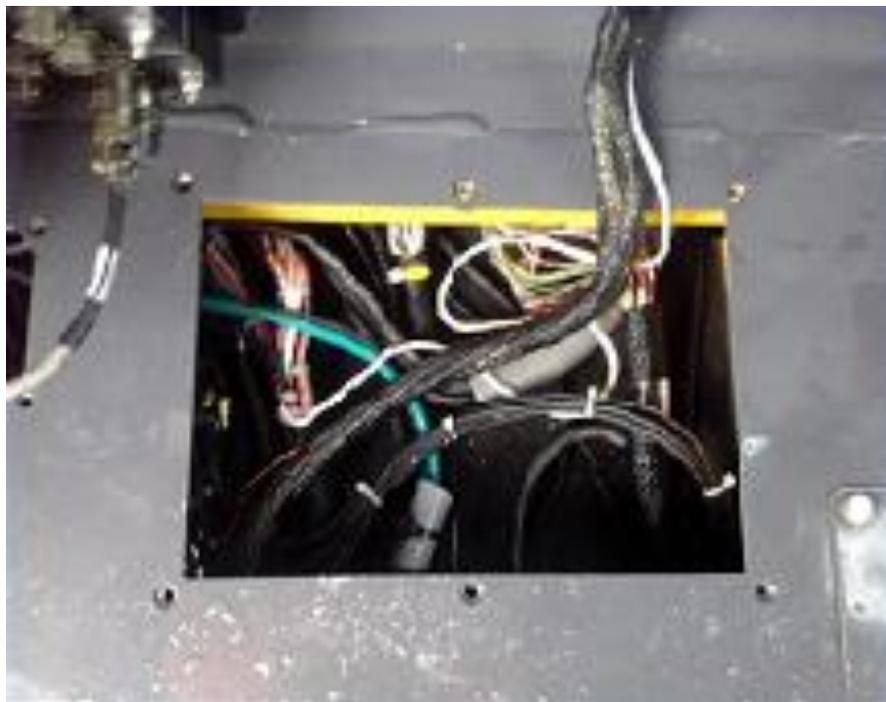
Como se puede apreciar en la figura n.º 42, la ruta del cableado es más corta y a la vez más fácil para fines de mantenimiento ya que los cables se encuentran protegidos por debajo de la cabina y no están expuestos al medio externo.

Figura n.º 42. Recorrido de cables Ethernet y GPS.



Fuente: Elaboración propia.

Figura n.º 43. Recorrido de cables Ethernet y GPS.



Fuente: Elaboración propia.

Figura n.º 44. Recorrido de cables Ethernet y GPS.



Fuente: Elaboración propia.

Figura n.º 45. Recorrido de cables Ethernet y GPS.



Fuente: Elaboración propia.

Para continuar con el recorrido del cable hasta el punto de conexión (mástil) se tiene que realizar algunas perforaciones a la estructura del camión, para ello se emplea una sierra de copa para agujero de $\frac{3}{4}$ en la parte que se indica en la figura n.º 45.

Una vez realizado el agujero se coloca por la parte baja un conector curvo de 46° que guiará la tubería conduit hasta el soporte de antena. Es necesario indicar que para realizar estos trabajos por debajo de la plataforma del camión es necesario utilizar escaleras de 03 peldaños que serán proporcionados por el área de plataforma de armado KOMATSU.

Figura n.º 46. Punto donde se realizara el agujero.



Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente figura se muestra el recorrido final del cableado, como se podrá apreciar, en ello se observa que la parte de la tubería expuesta al medio es mínima y además se encuentra libre ante cualquier daño ocasionado por agentes externos.

Figura n.º 47. Recorrido final de cableado Ethernet y GPS.



Fuente: Elaboración propia.

c) Conexionado de interfaces.

La unidad móvil (KOMATSU 930E) requiere de la instalación de 4 interfaces:

VHMS, TCI, PLM, CENSE.

El modelo de conexión es en cascada por medio de cables CAN, permitiendo la transferencia de información serial y el energizado de los demás GSP (Generic Serial Processor), tal como se puede observar en la figura n.º 48.

Figura n.º 48. Conexión en cascada de GSP's.



Fuente: Elaboración propia.

d) Instalación de soporte de antena de comunicaciones y GPS.

La instalación del soporte de antena se realiza en la parte delantera del camión, como se podrá apreciar en la figura n.º 49, la estructura de la antena se encuentra instalada tal como viene en el diseño original y no se realizó modificación alguna.

Figura n.º 49. Colocación de soporte de antena.



Fuente: Elaboración propia.

Figura n.º 50. Colocación de soporte de antena.



Fuente: Elaboración propia.

Figura n.º 51. Colocación de soporte de antena.



Fuente: Elaboración propia.

e) Conexión de componentes de hardware con los cables.

La conexión de los puntos de alimentación así como las interfaces de signos vitales se realizan en el tablero eléctrico principal, tal como se muestra en la figura n.º 52

Figura n.º 52. Conexión de interfaces.



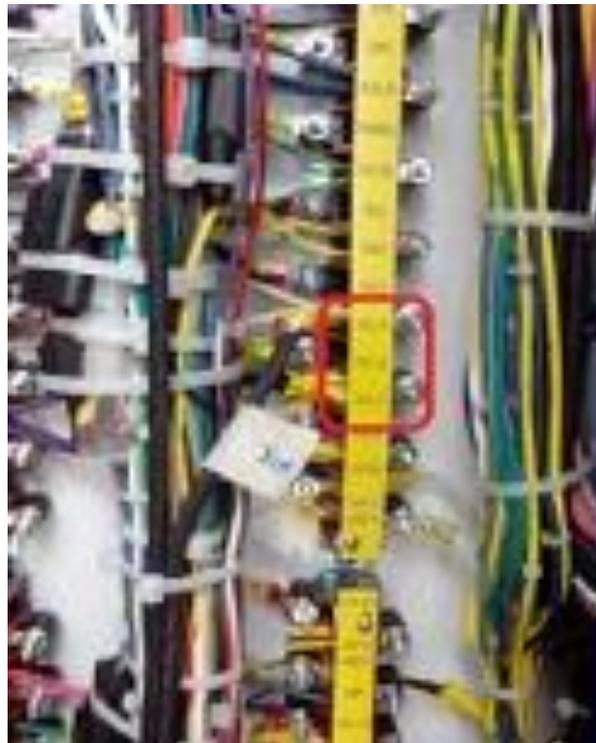
Fuente: Elaboración propia.

Figura n.º 53. Conexión de interfaces.



Fuente: Elaboración propia.

Figura n.º 54. Conexionado de interfaces.



Fuente: Elaboración propia.

Figura n.º 55. Conexionado de interfaces.



Fuente: Elaboración propia.

5.7.4 Normalizar y establecer un control.

Luego de culminada la instalación del sistema según el cronograma establecido el primer día del mes de febrero y realizada la entrega, el mismo día, de los 10 KOMATSU 930E a la Cía. Minera Antamina para iniciar el monitoreo, se empezó a experimentar el resultado de la implementación casi de forma inmediata con los reportes por eventos similares a los que en ocasiones anteriores habían generado fallas críticas y extensas horas de inactividad.

El control se refleja en los indicadores de disponibilidad entregados por el área de operaciones, del cual se filtra la información concerniente a los 10 equipos experimentales y se puede apreciar como nuestro indicador objetivo inició una tendencia creciente muy acorde a la idea inicial.

6 RESULTADOS

6.1 Resultados de implementación de mejoras.

Antes de analizar las variables, mostramos un ejemplo en el que se presentó un evento que fue monitoreado a tiempo por el sistema MineCare, dando lugar a una rápida solución, este mismo evento fue la causa que originó la falla crítica en el caso 1 desarrollado en el punto 5.5.5

Figura n.º 57. Lectura de alta temperatura reportada por el sistema MineCare.



Fuente: Cummins Perú

En la tabla que mostraremos a continuación se puede evidenciar los tiempos para cada procedimiento establecidos, basandonos en la información que se encuentra en el manual elaborado empleando los tiempos estimados por el personal mecánico experto del área de mantenimiento de camiones.

Tabla n.º 16. Procedimiento para cambio de inyector.

Procedimiento	Tiempo en minutos
Revisión Inicial	40
Pasos Preparatorios	80
Desmontar	80
Inspeccionar para Reutilizar	60
Instalar	80
Pasos de Terminación	80
Calibrar	60
TOTAL	480

Fuente: Elaboración propia.

6.1.1 Análisis de variables antes y después de la mejora.

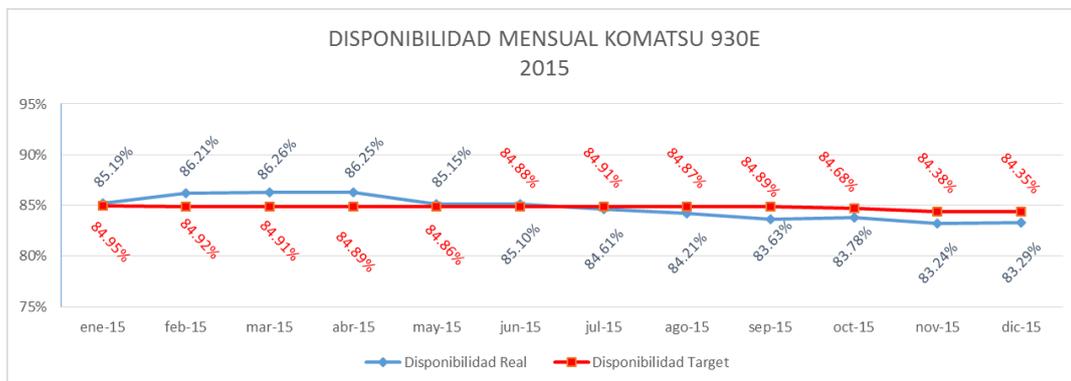
Realizaremos este análisis de forma sencilla, revisando el indicador “Disponibilidad real”, antes y después de la implementación del sistema MineCare.

a) Mejora de la disponibilidad de camiones KOMATSU 930E.

Debido a que el experimento fue realizado en las instalaciones de la Cía. Minera Antamina, no hacía falta realizar el cálculo de la disponibilidad, pues este era recogido directamente de la plataforma DISPATCH, otorgando mayor veracidad y objetividad al experimento.

En la siguiente figura podremos apreciar detalladamente el comportamiento de la disponibilidad mes a mes durante el año 2015.

Figura n.º 58. Disponibilidad mensual de los diez camiones KOMATSU 930E



Fuente: Elaboración propia basada en la información DISPATCH.

Podemos apreciar en color azul la Disponibilidad Real, desde el mes de enero aún se mantiene por encima de la Disponibilidad Objetivo (en rojo) pero el mes de junio esta diferencia se hace negativa, esto viendo de forma gráfica, pero pasemos a la siguiente tabla donde podremos apreciar este comportamiento de forma numérica, tengamos en cuenta que esta data ha sido filtrada únicamente para los camiones que fueron elegidos para poner a prueba el sistema MineCare. Pasemos a la tabla n.º 17 para poder apreciar mejor el detalle.

Tabla n.º 17. Disponibilidad del año 2015.

Mes - Año	Disponibilidad Real	Disponibilidad Objetivo	Diferencia Disponibilidad
ene-15	85.19%	84.95%	0.24%
feb-15	86.21%	84.92%	1.29%
mar-15	86.26%	84.91%	1.35%
abr-15	86.25%	84.89%	1.36%
may-15	85.15%	84.86%	0.29%
jun-15	85.10%	84.88%	0.22%
jul-15	84.61%	84.91%	-0.30%
ago-15	84.21%	84.87%	-0.66%
sep-15	83.63%	84.89%	-1.26%
oct-15	83.78%	84.68%	-0.90%
nov-15	83.24%	84.38%	-1.14%
dic-15	83.29%	84.35%	-1.06%

Fuente: Elaboración propia.

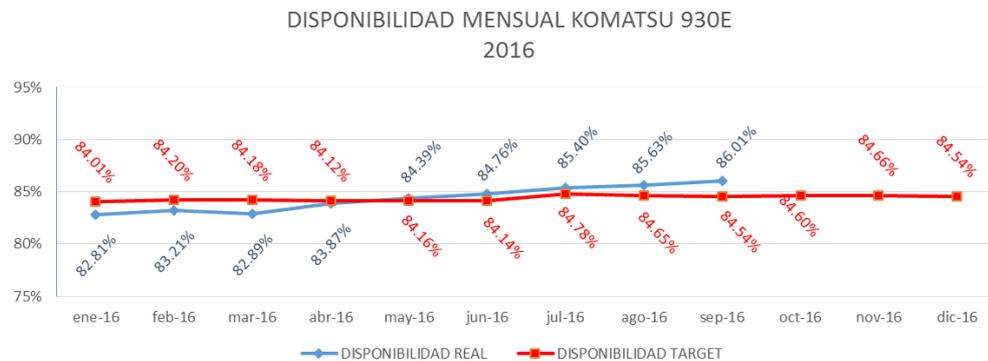
En la tabla mostrada arriba, observamos la cuarta fila en la que se muestra la diferencia de Disponibilidad Real sobre la Disponibilidad Objetivo, de esta forma sabremos que mientras esta diferencia sea positiva, se está cumpliendo con el objetivo, pero en el mes de Julio tenemos una diferencia igual a -0.30%, es en este momento en que se inicia la caída de la disponibilidad y se mantendría con esa tendencia lo que resta del año, pasando por un estrepitoso -1.26% registrado como la menor disponibilidad en el año, con este resultado se convoca al equipo de mantenimiento y debido al resultado de la disponibilidad del segundo semestre, se decide dar solución al problema.

Para el año 2016, mostramos los datos de la siguiente tabla, en la que apreciamos como luego de dos meses de terminada la implementación del sistema MineCare en el mes de febrero, en el mes de marzo obtenemos la primera disponibilidad bajo el monitoreo de condiciones de funcionamiento de la flota experimental en la que aparentemente no vemos mejoría, esto debido a que aún se arrastran eventos del mes anterior que generaron paradas con tiempos prolongados, sin embargo al final del mes de abril, ya podemos apreciar una disminución en la diferencia negativa de la Disponibilidad Real sobre la

Disponibilidad Objetivo situándose esta como la última disponibilidad negativa registrada en el año 2016.

Ya en el mes de mayo, obtenemos una diferencia de 0.23% de la Disponibilidad Real sobre la Disponibilidad Objetivo, situándose por encima de la disponibilidad establecida por el Área de Operaciones que es el principal cliente del Área de Mantenimiento, evidenciando de esta manera que la implementación del sistema MineCare tiene un impacto real y positivo en la mejora de la Disponibilidad de la flota KOMATSU, deducida de la muestra de diez camiones que se tomaron para realizar la prueba.

Figura n.º 59. Disponibilidad mensual hasta septiembre del año 2016.



Fuente: Elaboración propia basada en la información DISPATCH.

Tabla n.º 18. Disponibilidad del año 2016 hasta septiembre.

Mes - Año	Disponibilidad Real	Disponibilidad Objetivo	Diferencia Disponibilidad
ene-16	82.81%	84.01%	-1.20%
feb-16	83.21%	84.20%	-0.99%
mar-16	82.89%	84.18%	-1.29%
abr-16	83.87%	84.12%	-0.25%
may-16	84.39%	84.16%	0.23%
jun-16	84.76%	84.14%	0.62%
jul-16	85.40%	84.78%	0.62%
ago-16	85.63%	84.65%	0.98%
sep-16	86.01%	84.54%	1.47%
oct-16		84.60%	
nov-16		84.66%	
dic-16		84.54%	

Fuente: Elaboración propia.

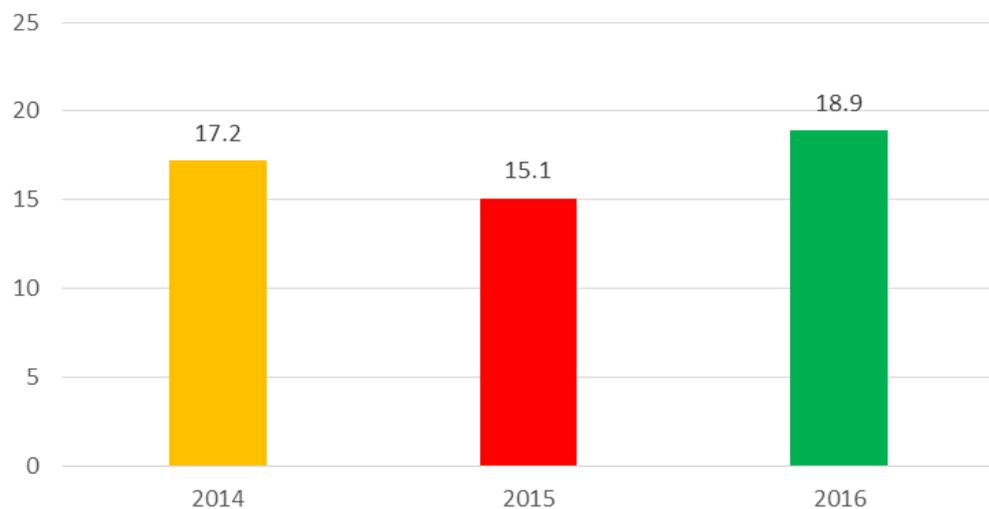
b) Mejora del tiempo promedio entre fallas MTBF.

Calculo del MTBF.

El promedio de los años 2014, 2015 y 2016 se obtuvo directamente de la plataforma DISPATCH.

Se logró incrementar el MTBF en 25.27 %.

Figura n.º 60. Comparación del MTBF de los años 2014, 2015 y 2016.



Fuente: Elaboración propia.

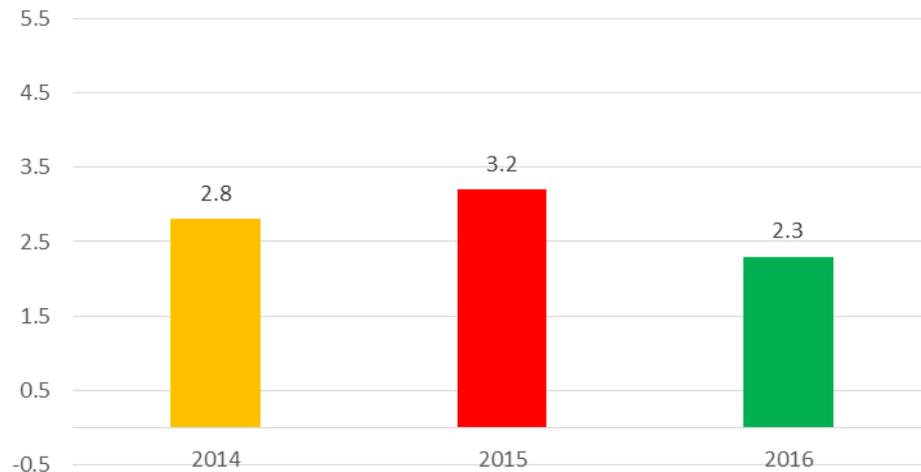
c) Mejora del tiempo promedio para la reparación MTTR.

Calculo del MTTR.

Fue recogida directamente de la plataforma DISPATCH, realizando el filtrado de los años 2014, 2015 y 2016.

Se logró disminuir el MTTR en 28.13%.

Figura n.º 61. Comparación de MTTR 2014, 2015 y 2016.



Fuente: Elaboración Propia.

6.2 Análisis económico financiero del proyecto.

Debido a que la organización de la empresa se divide en gerencias, el área de mantenimiento no tiene acceso alguno a la información financiera (producción), además esta información es confidencial, en salvaguarda de los intereses de la empresa para evitar problemas con la región (zona de influencia) y empleados (sindicato), por esta razón los datos presentados a continuación son aproximados y no se cuenta con información económica documentada.

La implementación de este proyecto fue llevado a cabo bajo la modalidad de contrato a todo costo con la empresa Modular Mining Systems S.R.L., por ello solo se cuenta con los valores de costo de implementación y costo mensual por el servicio de monitoreo.

6.2.1 Costo de implementación de la mejora.

Existen tres opciones que se pueden considerar para adquirir el servicio como se puede apreciar en la figura siguiente:

Figura n.º 62. Opciones del servicio mensual del sistema MineCare.

Opciones de Servicios MineCare®

Opción	Precio Mensual (USD)	Total Personal	Esquema Actual (L-V 9 am a 6 pm)	Adicional I (Noches hábiles 9 pm a 5 am)	Adicional II (Feriados, fines de semana 9am a 6pm y sus noches de 9 pm a 5am)
Opción 1 (Esquema Actual)	25,000	01 Administrador MineCare 02 Analistas MineCare	01 Administrador MineCare 02 Analistas MineCare		
Opción 2	31,250	01 Administrador MineCare 03 Analistas MineCare	01 Administrador MineCare 02 Analistas MineCare	01 Analista MineCare en turno	
Opción 3	37,500	01 Administrador MineCare 04 Analistas MineCare	01 Administrador MineCare 02 Analistas MineCare	01 Analista MineCare en turno	01 Analista MineCare en turno

Fuente: (Modular Mining Systems, 2015).

La Cía. Minera Antamina optó por la Opción 1, con un valor de 25,000.00 dólares mensuales por el servicio de monitoreo a cargo de 1 administrador MineCare y dos analistas MineCare que operan en un horario de 09:00 a 18:00 de Lunes a Viernes.

El costo de la implementación en los equipos elegidos para este proyecto asciende a un total de 400,000.00 dólares. El detalle se encuentra en la tabla n.º 19.

Tabla n.º 19. Costo de implementación del sistema MineCare en la muestra conformada por diez camiones KOMATSU 930E.

Descripción	Equipo	Modelo	Serie	Costo
Implementación del sistema MineCare	HT080	930E	A31238	\$40,000.00
Implementación del sistema MineCare	HT081	930E	A31239	\$40,000.00
Implementación del sistema MineCare	HT082	930E	A31256	\$40,000.00
Implementación del sistema MineCare	HT083	930E	A31258	\$40,000.00
Implementación del sistema MineCare	HT084	930E	A31260	\$40,000.00
Implementación del sistema MineCare	HT085	930E	A31261	\$40,000.00
Implementación del sistema MineCare	HT086	930E	A31262	\$40,000.00
Implementación del sistema MineCare	HT087	930E	A31266	\$40,000.00
Implementación del sistema MineCare	HT088	930E	A31268	\$40,000.00
Implementación del sistema MineCare	HT089	930E	A31022	\$40,000.00
TOTAL				\$400,000.00

Fuente: Elaboración propia.

6.2.2 Retorno de inversión (aproximado).

a) Costo Horas hombre evitadas.

Las horas hombre empleadas cada mes para la descarga de data que se evitaron suman en total 20 horas hombre, lo que significó un ahorro de 600 dólares mensuales.

Tabla n.º 20. Costo mensual por descarga manual de data de los camiones KOMATSU 930E.

Descripción	Equipo	Modelo	Serie	Costo por vez	Costo mensual
Descarga manual de data	HT080	930E	A31238	\$15.00	\$60.00
Descarga manual de data	HT081	930E	A31239	\$15.00	\$60.00
Descarga manual de data	HT082	930E	A31256	\$15.00	\$60.00
Descarga manual de data	HT083	930E	A31258	\$15.00	\$60.00
Descarga manual de data	HT084	930E	A31260	\$15.00	\$60.00
Descarga manual de data	HT085	930E	A31261	\$15.00	\$60.00
Descarga manual de data	HT086	930E	A31262	\$15.00	\$60.00
Descarga manual de data	HT087	930E	A31266	\$15.00	\$60.00
Descarga manual de data	HT088	930E	A31268	\$15.00	\$60.00
Descarga manual de data	HT089	930E	A31022	\$15.00	\$60.00
TOTAL					\$600.00

Fuente: Elaboración propia.

b) Horas operativas evitadas.

Las horas que se dejaron de emplear para la descarga de data de cada camión sumaban un total de 20 horas, estas horas detenidas costaban a la empresa un total de 36,000.00 dólares, tal como se muestra en la siguiente tabla.

En la siguiente tabla se muestra el costo mensual por la implementación del sistema MineCare en los 10 camiones experimentales y el costo por seis meses.

Tabla n.º 21. Costo mensual por los diez camiones KOMATSU 930E detenidos.

Descripción	Equipo	Modelo	Serie	Costo por vez	Costo mensual
Detención por descarga de data	HT080	930E	A31238	\$900.00	\$3,600.00
Detención por descarga de data	HT081	930E	A31239	\$900.00	\$3,600.00
Detención por descarga de data	HT082	930E	A31256	\$900.00	\$3,600.00
Detención por descarga de data	HT083	930E	A31258	\$900.00	\$3,600.00
Detención por descarga de data	HT084	930E	A31260	\$900.00	\$3,600.00
Detención por descarga de data	HT085	930E	A31261	\$900.00	\$3,600.00
Detención por descarga de data	HT086	930E	A31262	\$900.00	\$3,600.00
Detención por descarga de data	HT087	930E	A31266	\$900.00	\$3,600.00
Detención por descarga de data	HT088	930E	A31268	\$900.00	\$3,600.00
Detención por descarga de data	HT089	930E	A31022	\$900.00	\$3,600.00
TOTAL					\$36,000.00

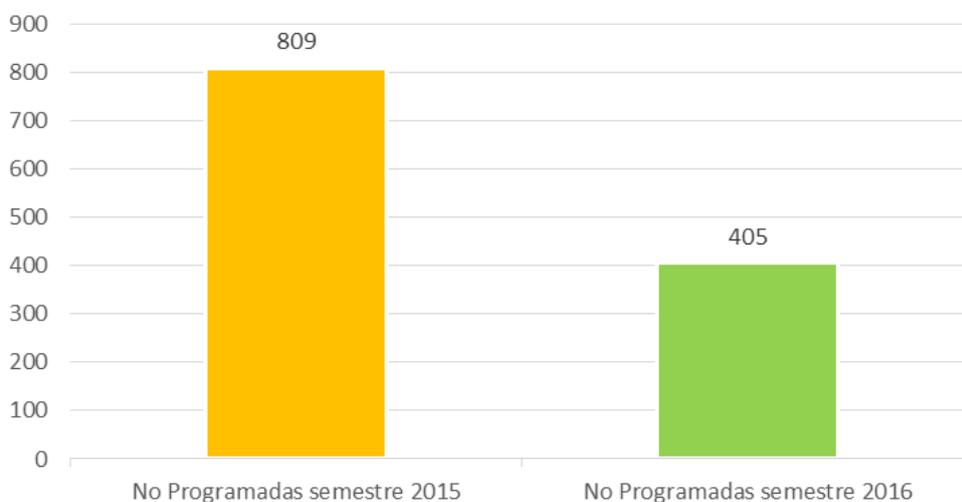
Fuente: Elaboración propia.

c) Reducción de horas por paradas no programadas.

Se consiguió reducir el número de horas por paradas no programadas en 50.06% respecto del último semestre del año 2015 y el primer semestre del año 2016 que fue monitoreado por el sistema MineCare.

Se logró disminuir en 404 horas las paradas no programadas que representan un monto total de 727,200 dólares, estas horas se sumaron a la producción.

Figura n.º 63. Comparación de los semestres 2015 y 2016 para las paradas no programadas.



Fuente: Elaboración propia.

d) Cuadro resumen de costos.

En la tabla que se muestra a continuación se detalla el resultado del beneficio económico logrado en solo seis meses con la utilización del sistema MineCare.

Tabla n.º 22. Resumen de inversión en la implementación del sistema MineCare y ahorro mensual por gastos evitados en seis meses.

Concepto	Gasto
Implementación de MineCare en diez camiones	
a) Instalación	-\$400,000.00
b) Costo Mensual del servicio (\$25,000.00 x 6 meses)	-\$150,000.00
Costo Horas hombre evitadas (\$600.00 x 6 meses)	\$3,600.00
Horas inoperativas evitadas (36,000.00 x 6 meses)	\$216,000.00
Horas por paradas no programadas evitadas	\$727,200.00
TOTAL	\$396,800.00

Fuente: Elaboración propia

En este caso, la empresa invirtió en la implementación del sistema MineCare, y logró evitar horas hombre, horas inoperativas y horas por paradas no programadas, obteniendo como resultado el ahorro de \$396,800.00 en seis meses de funcionamiento del software.

Como en todo proyecto, el costo generado por la inversión debe ser recuperado, muchas veces el retorno de la inversión se proyecta al plazo de dos años.

Debido a que la información económica de la empresa es manejada de forma confidencial por el área de finanzas, no es posible realizar cálculos financieros exactos de un estado anterior y actual, tan sólo se puede mostrar un resumen de los costos conocidos, además el presente trabajo está desarrollado y enfocada estrictamente al área de mantenimiento.

Tabla n.º 23 Proyección a dos años de los costos para la flota experimental de 10 camiones.

Concepto	Unidad	Proyección a dos años
Implementación de MineCare en diez camiones		
a) Instalación, pago por única vez por cada camión (80 camiones)	\$40,000.00	\$400,000.00
b) Costo fijo del servicio (mensual)	\$25,000.00	\$600,000.00
Costo horas hombre evitadas (mensual)	\$60.00	\$14,400.00
Horas operativas sumadas a la producción (mensual)	\$3,600.00	\$864,000.00
Reducción de horas por paradas no programadas (aprox. mensual)	\$121,200.00	\$2,908,800.00
TOTAL		\$4,787,200.00

Fuente: elaboración propia.

En este caso la empresa deja de perder la suma de 4,787,200.00 dólares en el periodo de dos años, contados desde la fecha inicial de la implementación del sistema MineCare.

Si realizamos la proyección considerando a toda la flota conformada por 80 camiones en el periodo de dos años los resultados serían como se muestran en la siguiente tabla.

Tabla n.º 24 Proyección de costos para la flota de 80 camiones en el periodo de dos años.

Concepto	Unidad	Proyección a dos años
Implementación de MineCare en diez camiones		
a) Instalación, pago por única vez por cada camión (80 camiones)	\$40,000.00	-\$3,200,000.00
b) Costo fijo del servicio (mensual)	\$25,000.00	-\$600,000.00
Costo horas hombre evitadas (mensual)	\$60.00	\$115,200.00
Horas operativas sumadas a la producción (mensual)	\$3,600.00	\$6,912,000.00
Reducción de horas por paradas no programadas (aprox. mensual)	\$121,200.00	\$2,908,800.00
TOTAL		\$13,736,000.00

Fuente: Elaboración propia.

Cuando se realiza la proyección para toda la flota conformada por 80 camiones KOMATSU 930E, en el tiempo de dos años, tenemos un resultado aproximado considerable, como se muestra en la tabla n.º 24, pues la empresa evita pérdidas por un monto total de 13,736,000.00 dólares.

Sin necesidad de analizar elaborados cálculos financieros, se puede apreciar que los resultados demuestran claramente que el impacto de la implementación del sistema MineCare en la flota de acarreo, resulta económicamente conveniente para la empresa además de ser sostenible en el tiempo.

7 DISCUSIÓN

En Esta investigación, nos planteamos objetivos claros para evitar distraer recursos y esfuerzo, pues el tema tratado es únicamente relacionado al mantenimiento mecánico, el principal objetivo fue solucionar el problema de la baja disponibilidad de la flota de camiones KOMATSU 930E, para lo cual Gerencia de Mantenimiento entregó diez camiones y la disposición a asumir el costo de implementación del sistema MineCare en esta flota experimental. Como resultado de esta prueba se obtuvo una mejora considerable en la disponibilidad equivalente a 3.12% una cifra baja a simple vista, pero grande en términos de trabajo en minería.

Ligado directamente a la mejora de la disponibilidad se encuentran el tiempo promedio entre fallas y el tiempo promedio para la reparación, que gracias al a implementación del sistema MineCare se vieron mejorados, en este caso sabemos que mientras mayor sea el tiempo promedio entre fallas (MTBF) mejor es el resultado, se logró un incremento de 25.17% que representa 3.8 horas. Contrariamente el tiempo promedio para la reparación (MTTR) debe ser menor para ser mejor y se logró una disminución de 28.13% que equivale a 0.9 horas menos que se emplean en realizar el mantenimiento a cada equipo.

Luego de realizar el análisis de las fallas más comunes y más relevantes se consiguió determinar los principales tipos de falla que son el sistema admisión escape, el sistema block culatas, el sistema de combustible, el sistema de refrigeración, el sistema eléctrico motor y el sistema lubricación motor, estos seis sistemas son los responsables de la mayor cantidad de paradas no programadas por temas mecánicos.

Finalmente se eliminó la tarea de recolección manual de datos de cada camión KOMATSU 930E, eliminándose así las horas hombre destinadas a esta labor. Este evento fue el más notable por su inmediatez al alcanzar el resultado deseado.

RESEÑA FINAL

En el estudio realizado, se solicitó al equipo de mantenimiento de la Cía. Minera Antamina que encontrara una solución rápida y efectiva para remediar el problema de la deficiente disponibilidad que se venía experimentando desde mediados del año 2015, esto a raíz de la solicitud del cliente inmediato, que es el área de operaciones de la misma empresa, esta área elabora un plan de producción anual y establece los niveles de disponibilidad necesarios para que se pueda alcanzar el objetivo previsto.

El equipo de mantenimiento debe superar esa disponibilidad establecida por el área de operaciones conocida como Disponibilidad Objetivo, para esto, el Gerente del área de mantenimiento designó la tarea a uno de los especialistas del área, precisamente a uno de los analistas de flota, luego de asignarle un plazo de dos meses, entonces se inició rápidamente el estudio de la información que se encontraba en la base de datos de la flota que funciona con un software llamado SPECTO, creado por y para los equipos KOMATSU.

Luego de iniciado el análisis de la información detectamos que los mecánicos emitían informes indicando las posibles causas que originaban las fallas críticas. Culminada esta revisión y con información reciente a la mano, decidimos contrastarla con la que se encuentra en SPECTO, de ello descubrimos que efectivamente las deducciones de los mecánicos, personal experimentado en muchos de los casos, estaba íntimamente ligado a los resultados de las conclusiones que emitía el sistema creado por KOMATSU para monitorear sus equipos, pero existía una deficiencia en el trabajo de este software.

Pues el modo en que trabaja este software capaz de elaborar acertados diagnósticos de fallas, poseía una gran debilidad, no tenía la capacidad de emitir las alertas en el tiempo debido, ¿por qué? Pues la razón era que los datos que el camión recolectaba durante su funcionamiento, muchas veces emitían alertas en caso de funcionamiento irregular, pero el operador no siempre consideraba tomarlos en cuenta, luego cuando el camión se encontraba inoperativo ya sea por correctivo o por parada programada, dichos datos eran recolectados manualmente por un mecánico que se dirigía a la unidad a descargarlos y transportarlos a los ordenadores donde eran ingresados al sistema para obtener información del estado del equipo, es evidente que todo diagnóstico era emitido con posterioridad y que en muchos de los casos el camión ya se encontraba inoperativo a causa de una falla crítica.

Es entonces que decidimos cambiar este modo de funcionamiento buscando la manera de agregar un método en el que esta información recolectada por el Módulo de Control Electrónico del camión KOMATSU 930E sea analizada en tiempo real por especialistas de tal forma que a la mínima evidencia de funcionamiento irregular en los principales componentes monitoreados, estos tomaran la decisión de ordenar al equipo de mantenimiento que detenga el camión en el lugar en que se encuentre o que se dirija al taller, dependiendo de la criticidad del evento involucrado en el análisis realizado.

El sistema adecuado para realizar esta labor fue considerado luego de apreciar su funcionamiento en la Mina del Cañón de Bingham ubicada en Utah, Estados Unidos donde aquel equipo de mantenimiento aseguró que dadas las condiciones geográficas de su territorio el sistema operaba con bastante eficiencia.

Una vez planteada la solución a Gerencia de Mantenimiento, esta tomó la decisión de entregar diez camiones para realizar la prueba en la flota KOMATSU 930E.

Luego de la implementación del sistema MineCare en estos diez camiones, se inició el monitoreo con la información que recolectaba la Módulo de Control Electrónico que era transmitida vía inalámbrica hacia la red de la Cía. Minera Antamina y remitidos a la central de Modular Mining Systems S.R.L., donde los especialistas realizan el análisis de los datos recibidos para tomar las decisiones que determinarán si un camión debe detenerse de inmediato, o si este aún puede trabajar por un tiempo más hasta el momento en que se le indique que debe dirigirse hacia el taller para su intervención.

Inicialmente los operadores se mostraron reacios a detenerse y dirigirse al taller por eventos que ellos consideraban poco relevantes, aun así, la orden era clara y de cumplimiento estricto. Ya al segundo mes de iniciado el monitoreo, se pudo evidenciar que el seguimiento realizado a la disponibilidad de los diez equipos remontó la deficiencia que veníamos experimentando y al tercer mes ya se había superado a la Disponibilidad Objetivo en 0.23%, confirmando el buen funcionamiento del reciente sistema incorporado al programa de mantenimiento.

Gerencia de Mantenimiento indicó que la decisión final de incorporar el sistema al total de la flota se tomaría en el mes de Noviembre, luego de realizar el informe de fin de año.

8 CONCLUSIONES

- El impacto logrado por la implementación del sistema MineCare para la disponibilidad mecánica de la muestra conformada por 10 camiones KOMATSU 930E fue positiva logrando una diferencia a favor de 1.47% en el mes de setiembre, último mes en que se realizó el monitoreo de prueba.
- A raíz de la implementación del sistema MineCare se detectó una mayor cantidad de eventos potenciales que podrían haber causado fallas críticas que ocasionaran la detención del camión por mayor cantidad de horas, por lo tanto, gracias a la temprana detección de estos eventos se consiguió un incremento importante en el tiempo de operación (disponibilidad mecánica), pues se pudo constatar un incremento de 3.12%.
- La detección de eventos potenciales en su origen permitió evaluar la criticidad de la falla permitiendo tener un pronóstico más acertado del tiempo para la intervención del camión, lo que dio lugar a una importante mejora en el tiempo promedio entre fallas MTBF, logrando un incremento de 25.17%.
- Gracias a la detección de eventos de fallas simples con gran potencial de convertirse en fallas críticas, se redujo el tiempo medio para la reparación MTTR en un 28.13%, debido a que estas fallas simples requieren un menor tiempo para su intervención hasta su solución.

RECOMENDACIONES

- Implementar el sistema MineCare en la totalidad de la flota de acarreo KOMATSU 930E y en el resto de equipos críticos existentes en la Cía. Minera Antamina.
- Tomar en cuenta el tiempo de operación (disponibilidad mecánica) de los Camiones KOMATSU 930E para un adecuado control de mantenimiento.
- Considerar que la mejora entre el tiempo promedio entre fallas, determina claramente que se está realizando un mantenimiento adecuado a los equipos, por lo tanto, debe mantenerse el incremento de este indicador.
- El tiempo promedio para la reparación, se ha disminuido considerablemente, esto implica que las fallas críticas se han reducido y la mayoría de eventos detectados se traducen únicamente en fallas simples que permiten mejor tiempo para su intervención, se recomienda tomar en cuenta para el aprendizaje del modo de falla y especialización del personal mantenedor.

REFERENCIAS

- Álvarez, E. (2013). *Análisis de fallas de una máquina extrusora de electrodos. (Tesis para optar el Título de Ingeniero Industrial y de Sistemas)*. Universidad de Piura, Perú.
- Bonilla, E., Díaz, B., Kleeberg F., & Noriega, M. (2012). *Mejora continua de los procesos. Herramientas y técnicas*. Lima Perú.
- Castañeda, G., (2014). *Impacto de la mejora del proceso de mantenimiento de neumáticos de equipos livianos de Cía. Minera Antamina S.R.L, para incrementar su vida útil. (Tesis para optar el Título de Ingeniero Industrial)*. Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú.
- Coetzee Jasper, L., (2010). *Maintenance Publishers Ltd Republic of South África*. África
- Morales, F. (2012). *Implantación de un programa de mantenimiento productivo total (TPM) al taller automotriz del I. municipio de Riobamba (IMR). (Tesis para optar al Título de Ingeniero Automotriz)*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- Piedra, P. (2005). *Gerencia estratégica de mantenimiento de la empresa plásticos del litoral – plastlit. (Tesis para optar al Título de Ingeniero en Electricidad especialización Electrónica y Automatización Industrial)*. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.
- Sánchez F.; Pérez A., Sancho J. (2007). *Mantenimiento Mecánico de Máquinas*. Castellón de la Plana Perú.
- Vizcarra, B., Carlos, A. (2015). *Impacto de la mejora en el programa de mantenimiento en el área de palas Hitachi sobre la efectividad operacional. (Tesis para optar por el título profesional de ingeniero industrial)*. Universidad Privada del Norte, Perú.

LINKOGRAFIA.

- Azañero, O. (15 de Noviembre 2016). *Herramientas para el ingeniero industrial*. Obtenido de <http://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/mantenimiento/>
- Dionicio, G. (30 de Octubre de 2016). *Definiciones de minería a tajo abierto*. Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos96/mineria-general/mineria-general.shtml>
- Estrategias de mantenimiento. (29 de Octubre de 2016). *Estrategias de mantenimiento*. Obtenido de <http://ingenieriadelmantenimiento.com/index.php/9-estrategias-de-mantenimiento/6-estrategias-de-mantenimiento>
- Luna, H. (18 de Octubre de 2016). *Pautas para la realización de un contrato marc*. Obtenido de <http://ingenieria83.blogspot.com/2010/12/contrato-marc.html>
- Marcus, W. (26 de Octubre de 2016). *Conceptos de gestión y mantenimiento industrial*. Obtenido de <http://definicion.de/gestion/>
- Minería del Perú. (07 de Octubre del 2016). *Mantenimiento preventivo en minería*. Obtenido de <http://mineriadelperu.com/minas-subterraneas-y-de-tajo-abierto-en-el-peru/>
- Miranda, D. (23 de Octubre de 2016). *Cálculos de indicadores*. Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos93/calculo-parametros-mantenimiento/calculo-parametros-mantenimiento.shtml>
- Sánchez, Z. Sistema de criticidad para los equipos. (18 de Octubre de 2016). *Sistema de Criticidad para los equipos*. Obtenido de <http://es.scribd.com/doc/70966184/Sistema-de-Criticidad-Para-Los-Equipos#scribd>

Glosario.

- **Camiones:** Maquinas de movimiento de tierras diseñadas para excavar el terreno cuyo equipo de trabajo se mueve mediante cilindros hidráulicos, son fabricados especialmente a pedido de empresas que trabajan yacimientos mineros muy grandes.
- **Conduit:** Tubería flexible corrugada especialmente usada en conexiones eléctricas.
- **Competitividad:** Es la búsqueda de eficacia y efectividad que las diferentes empresas, entidades empresariales y corporaciones realizan en pos de posicionarse como las mejores en sus rubros o áreas, superando a posibles competidoras.
- **Contrato MARC:** Es aquel por el cual el prestador de servicios se obliga, respecto de determinados equipos del cliente y mediante la mantención y reparación de los mismos a que dichos equipos estarán en condiciones de funcionar una determinada cantidad de horas dentro de un lapso de tiempo determinado.
- **Criticidad:** Permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, con la finalidad de dirigir recursos de la manera más efectiva en áreas donde sea más importante mantener o mejorar la confiabilidad operacional.
- **Dealer:** Término inglés utilizado para definir al distribuidor de equipos, maquinarias o una determinada marca.
- **Diseño:** Es el pensamiento de soluciones a un tema o problemática.
- **Gestión:** Es la disciplina que se encarga de organizar y de administrar los recursos de manera tal que se pueda concretar todo el trabajo requerido por un proyecto dentro del tiempo y del presupuesto disponible.
- **Mantenimiento:** Son el conjunto de acciones que tienen como objetivo mantener un artículo o restaurarlo a un estado en el cual el mismo pueda desplegar la función requerida o las que venía desplegando hasta el momento en que se dañó.
- **Operatividad de equipos:** Capacidad para realizar una función.
- **Optimización:** Búsqueda de la mejor manera de realizar una actividad.
- **Parada por correctivo:** Parada de un equipo como consecuencia de una avería.
- **Proceso:** Un proceso es una secuencia de pasos dispuesta con algún tipo de lógica que se enfoca en lograr algún resultado específico.
- **Viables:** Que, por sus circunstancias, tiene la probabilidades de poderse llevar a cabo.

ANEXOS

Anexo n.º 1. Listado de perforadoras y cargadores, basada en registros de Antamina.

	Ítem	Equipo	Descripción	Máquina
				Modelo
PERFORADORAS	1	TD001	Perforadora	ECM 690
	1	TD002	Perforadora	ECM 690
	1	TD003	Perforadora MCI	DMM2
	2	TD016	Perforadora MCI	ACL830
	3	TD017	Perforadora MCI	
	4	TD018	Perforadora MCI	
	5	TD019	Perforadora MCI	ACL830
	6	TD020	Perforadora MCI	
	7	TD021	Perforadora MCI	DP1500
	8	TD022	Perforadora MCI	DP1500I
9	TD023	Perforadora MCI	D75KS	
10	TD024	Perforadora MCI		
CARGADORES	11	LD001	Cargador frontal sobre ruedas	CAT924F
	12	LD007	Cargador frontal sobre ruedas	
	13	LD017	Cargador frontal sobre ruedas	CAT924H
	14	LD008	Cargador frontal sobre ruedas	CAT966G
	15	LD002	Cargador frontal sobre ruedas	CAT988F1
	16	LD011	Cargador frontal sobre ruedas	
	17	LD010	Cargador frontal sobre ruedas	
	18	LD020	Cargador frontal sobre ruedas	CAT988H
	19	LD003	Cargador frontal sobre ruedas	CAT992G
	20	LD004	Cargador frontal sobre ruedas	CAT994D
	21	LD005	Cargador frontal sobre ruedas	
	22	LD012	Cargador frontal sobre ruedas	CAT994F
	23	LD018	Cargador frontal sobre ruedas	
	24	LD014	Cargador frontal sobre ruedas	
	25	LD015	Cargador frontal sobre ruedas	LETL2350
	26	LD016	Cargador frontal sobre ruedas	
	27	LD021	Cargador frontal sobre ruedas	LETL2350

Fuente: Elaboración propia.

Anexo n.º 2. Listado de tractores de oruga y rueda, basada en los registros de Antamina.

	Ítem	Equipo	Descripción	Máquina	
				Modelo	
TRACTORES DE ORUGA	28	DZ001	Tractor de orugas	CATD10R	
	29	DZ002	Tractor de orugas		
	30	DZ003	Tractor de orugas		
	31	DZ004	Tractor de orugas		
	32	DZ005	Tractor de orugas		
	33	DZ006	Tractor de orugas		
	34	DZ008	Tractor de orugas		
	35	DZ009	Tractor de orugas		
	36	DZ010	Tractor de orugas		CATD11R
	37	DZ011	Tractor de orugas		CATD10T
	38	DZ012	Tractor de orugas	CATD11T	
	39	DZ013	Tractor de orugas		
	40	DZ014	Tractor de orugas		
	41	DZ015	Tractor de orugas	CATD8R	
	42	DZ016	Tractor de orugas		
	43	DZ017	Tractor de orugas	CATD6R	
	44	DZ200	Tractor de orugas	KOMATSU D155AX-6	
	45	DZ201	Tractor de orugas		
46	DZ300	Tractor de orugas			
TRACTORES DE RUEDA	47	DZ202	Tractor de orugas		
	48	DZ203	Tractor de orugas		
	49	RD001	Tractor de ruedas	CAT834B	
	50	RD002	Tractor de ruedas	CAT854G	
	51	RD003	Tractor de ruedas		
	52	RD004	Tractor de ruedas	CAT854K	
	53	RD005	Tractor de ruedas		
	54	RD006	Tractor de ruedas		
	55	RD007	Tractor de ruedas		
56	RD008	Tractor de ruedas			
57	RD009	Tractor de ruedas			

Fuente: Elaboración propia.

Anexo n.º 3. Listado de motoniveladoras, excavadoras y rodillos- registro Antamina.

	Ítem	Equipo	Descripción	Máquina
				Modelo
MOTONIVELADORAS	58	GR003	Motoniveladora	CAT16H
	59	GR004	Motoniveladora	
	60	GR005	Motoniveladora	CAT14H
	61	GR006	Motoniveladora	CAT16H
	62	GR007	Motoniveladora	CAT24H
	63	GR008	Motoniveladora	
	64	GR009	Motoniveladora	CAT24M
	65	GR010	Motoniveladora	
	66	GR011	Motoniveladora	
	67	GR012	Motoniveladora	
68	GR013	Motoniveladora		
69	GR014	Motoniveladora		
EXCAVADORAS	70	EC002	Excavadora	CAT330BL
	71	EC004	Excavadora	CAT330CL
	72	EC005	Excavadora	
	73	EC001	Excavadora	CAT375L
	74	EC003	Excavadora	CAT385CL
	75	EC006	Excavadora	
	76	EC007	Excavadora	
	77	EC008	Excavadora	
	78	EC009	Excavadora	CAT390DL
	79	EC010	Excavadora	CAT385CL
	80	EC011	Excavadora	KOMATSU PC350LC-8
	81	EC012	Excavadora	
	83	BH001	Retroexcavadora	CAT426C
RODILLOS	84	CM001	Rodillo compactador	CATCS533C
	85	CM002	Rodillo compactador	CATCS533D
	86	CM003	Rodillo compactador	

Fuente: Elaboración propia.

Anexo n.º 4. Listado de camiones.

EQUIPO	MODELO	SERIE
HT019	Makeup	4GZ00105
HT025	Makeup	ATY00204
HT026	Makeup	ATY00205
HT037	Makeup	ATY00411
HT039	Makeup	ATY00413
HT040	793C	ATY00414
HT044	793C	ATY00948
HT046	793C	ATY00950
HT047	793C	ATY00951
HT048	793D	FDB00428
HT049	793D	FDB00429
HT050	793D	FDB00667
HT051	793D	FDB00692
HT052	793D	FDB00696
HT053	793D	FDB00762
HT054	793D	FDB00764
HT057	793F	SSP00155
HT058	793F	SSP00211
HT059	793F	SSP00213
HT060	793F	SSP00215
HT061	793F	SSP00218
HT062	793F	SSP00220
HT063	793F	SSP00221
HT064	793F	SSP00223
HT065	793F	SSP00225
HT066	793F	SSP00227
HT067	793F	SSP00222
HT068	793F	SSP00224
HT069	793F	SSP00228
HT070	793F	SSP00226
HT071	793F	SSP00229
HT072	793F	SSP00230
HT073	793F	SSP00231
HT074	793F	SSP00232
HT200	797F	LAJ00398
HT900	777C	2YW00100
HT901	777C	2YW00101
HT902	777C	2YW00102
HT903	777C	2YW00103
HT914	793C	4GZ00102
WT001	777C	
WT007	785D	DMC00124
WT008	785D	DMC00127
WT009	785D	DMC00129

Fuente: Elaboración propia.

Anexo n.º 5. Listado de camiones KOMATSU 930E incluye diez equipos experimentales.

Nº	EQUIPO	MODELO	SERIE		Nº	EQUIPO	MODELO	SERIE
1	HT080	930E	A31238		41	HT120	930E	A31476
2	HT081	930E	A31239		42	HT121	930E	A31501
3	HT082	930E	A31256		43	HT122	930E	A31502
4	HT083	930E	A31258		44	HT123	930E	A31504
5	HT084	930E	A31260		45	HT124	930E	A31516
6	HT085	930E	A31261		46	HT125	930E	A31518
7	HT086	930E	A31262		47	HT126	930E	A31528
8	HT087	930E	A31266		48	HT127	930E	A31530
9	HT088	930E	A31268		49	HT128	930E	A31536
10	HT089	930E	A31022		50	HT129	930E	A31538
11	HT090	930E	A31024		51	HT130	930E	A31542
12	HT091	930E	A31033		52	HT131	930E	A31544
13	HT092	930E	A31082		53	HT132	930E	A31546
14	HT093	930E	A31084		54	HT133	930E	A31558
15	HT094	930E	A31085		55	HT134	930E	A31564
16	HT095	930E	A31088		56	HT135	930E	A31582
17	HT096	930E	A31089		57	HT136	930E	A31584
18	HT097	930E	A31093		58	HT137	930E	A31586
19	HT098	930E	A31091		59	HT138	930E	A31593
20	HT099	930E	A31157		60	HT139	930E	A31595
21	HT100	930E	A31173		61	HT140	930E	A31597
22	HT101	930E	A31270		62	HT141	930E	A31723
23	HT102	930E	A31275		63	HT142	930E	A31725
24	HT103	930E	A31277		64	HT143	930E	A31726
25	HT104	930E	A31279		65	HT144	930E	A31745
26	HT105	930E	A31281		66	HT145	930E	A31746
27	HT106	930E	A31283		67	HT146	930E	A31747
28	HT107	930E	A31295		68	HT147	930E	A31758
29	HT108	930E	A31306		69	HT148	930E	A31759
30	HT109	930E	A31308		70	HT149	930E	A31760
31	HT110	930E	A31310		71	HT150	930E	A31749
32	HT111	930E	A31312		72	HT151	930E	A31752
33	HT112	930E	A31432		73	HT152	930E	A31761
34	HT113	930E	A31448		74	HT153	930E	A31778
35	HT114	930E	A31452		75	HT154	930E	A31779
36	HT115	930E	A31464		76	HT155	930E	A31780
37	HT116	930E	A31466		77	HT156	930E	A31796
38	HT117	930E	A31475		78	HT157	930E	A31797
39	HT118	930E	A31477		79	HT158	930E	A31798
40	HT119	930E	A31479		80	HT159	930E	A31919

Fuente: Elaboración propia.

Anexo n.º 6. Listado de palas y perforadoras.

Ítem	Equipo	Descripción	Máquina
			Modelo
1	SH004	PALA BUCYRUS	BE495BI
2	SH005	PALA - P&H	PH4100XPC
3	SH006	PALA - P&H	PH4100XPC
4	SH007	PALA - P&H	PH4100XPC
5	SH008	PALA - P&H	PH4100XPC
6	SH009	PALA - P&H	PH4100XPC
7	SH010	PALA - P&H	PH4100XPC
8	SH011	PALA - P&H	PH4100XPC
9	SH012	HITEX566	EX5600-6
10	SH013	HITEX567	EX5600-7
11	SH014	HITEX568	EX5600-8
12	TD005	PERFORADORA BUCYRUS	BE49RIII
13	TD006	PERFORADORA BUCYRUS	BE49RIII
14	TD007	PERFORADORA BUCYRUS	BE49RIII
15	TD008	PERFORADORA BUCYRUS	BE49RIII
16	TD009	PERFORADORA BUCYRUS	BE49RIII
17	TD010	PERFORADORA BUCYRUS	BE49RIII
18	TD011	PERFORADORA BUCYRUS	BE49RIII
19	TD012	PERFORADORA BUCYRUS	BE49RIII
20	TD013	PERFORADORA BUCYRUS	BE49RIII
21	TD014	PERFORADORA BUCYRUS	BE49RIII
22	TD015	PERFORADORA BUCYRUS	BE49RIII
23	TD016	PERFORADORA BUCYRUS	BE49RIII

Fuente: Elaboración propia.