

UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA DE MINAS

TESIS:

“MEJORA DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO UTILIZANDO LA METODOLOGÍA LEAN BELT EN LA FLOTA DE TRACTORES ORUGA CATERPILLAR® DE LA EMPRESA FERREYROS S.A. EN EL ÁREA DE OPERACIONES DEL PROYECTO TANTAHUATAY-CAMARCA 2016”

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO DE MINAS

Presentado por el Bachiller:
VÁSQUEZ LEYVA, PEPE ROLMER

Cajamarca – Perú

2016

A:

A mis padres Victoriano y Telesila por su apoyo incondicional, por su amor infinito, por su comprensión y sus consejos.

A mis hermanos Roner y Elita gracias por estar conmigo en todo momento, fueron mi guía para continuar adelante.

Pepe

AGRADECIMIENTO

A Dios por bendecirme para llegar hasta donde he llegado, porque hiciste realidad este sueño anhelado.

A la Universidad Alas Peruanas Filial Cajamarca, por darme la oportunidad de estudiar preparándome para un mejor futuro.

A los Docentes de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura que me enseñaron valorar los estudios y a superarme cada día.

A mis amigos que de una u otra manera me apoyaron para la realización de la presente tesis.

El Autor

RESUMEN

El objetivo general de la presente investigación fue determinar la influencia del uso de la Metodología Lean Belt en el mejoramiento del mantenimiento predictivo en la flota de Tractores Oruga Caterpillar® de la Empresa Ferreyros S.A en el área de operaciones del proyecto Tantahuatay. La deficiencia encontrada en la flota de Tractores Oruga Caterpillar® fue de 76.18% desde el mes de junio, con un total de 1007.34 horas de parada y 358 eventos correctivos, al aplicar la metodología Lean Belt se logró una eficiencia de 88.52%, con 504.08 horas de parada y 198.24 eventos correctivos por lo que el incremento alcanzado fue de 12.34%. Al aplicar las técnicas de mejora y encontrar las fallas de los equipos, después de utilizar la metodología Lean Belt, se generó un beneficio económico para la Empresa Ferreyros S.A. de \$ 27 230.04

Palabras claves: Predictivo, lean Belt, mantenimiento, performance, eficiencia, disponibilidad, mejora.

ABSTRAC

The overall objective of this research was to determine the influence of the use of Lean Methodology Belt in improving predictive maintenance fleet Caterpillar Caterpillar Tractor Company Ferreyros S.A. in the area of operations Tantauatay project. The deficiencies found in the fleet of Caterpillar tractors Caterpillar was 76.18% since June, with a total of 1007.34 hours of stop and 358 corrective events, applying Lean Belt efficiency of 88.52% was achieved, with 504.08 and stop times 198.24 corrective events so the increase achieved was 12.3%. Applying improvement techniques, and find the equipment failure, and after using Lean Belt, an economic benefit for the company Ferreyros S.A. of \$ 27 230.04

Keywords: Predictive, lean Belt, maintenance, performance, availability, efficiency improvement.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo profesional de mejora del mantenimiento predictivo utilizando la metodología Lean Belt en la flota de Tractores Oruga Caterpillar® de la Empresa Ferreyros S.A. en el área de operaciones del Proyecto Tantahuatay – Cajamarca 2016.

El objetivo general de la presente investigación fue determinar la influencia del uso de la Metodología Lean Belt en el mejoramiento del mantenimiento predictivo en la flota de Tractores Oruga Caterpillar® de la Empresa Ferreyros S.A en el área de operaciones del proyecto Tantahuatay – Cajamarca 2016.

Para lo cual presenta el siguiente problema principal ¿Cómo influye el uso de la metodología Lean Belt en la mejora del mantenimiento predictivo en la flota de Tractores Oruga Caterpillar® de la Empresa Ferreyros S.A. en el Área de Operaciones del Proyecto Tantahuatay – Cajamarca 2016?

Esta investigación se justifica radica que en los últimos 20 años, la situación actual de las industrias se basaron en su confiabilidad y disponibilidad para aumentar la vida de sus equipos. A nivel mundial el 65% las industrias se proyectan en aumentar la productividad sin incrementar sus costos.

En Cajamarca, en la Provincia de Hualgayoc en el proyecto de Tantahuatay, de la Compañía Minera Coimolache, advierten la baja disponibilidad de los equipos, incremento en los costos operacionales de mantenimiento que impacta negativamente el presupuesto de la Empresa Ferreyros S.A.

El presente trabajo consta de cinco capítulos: Primer Capítulo; contiene descripción de la realidad problemática, delimitación de la investigación, delimitación especial, delimitación social, delimitación temporal, delimitación

conceptual, problema principal, problemas secundarios, objetivo general, objetivos específicos, comprende hipótesis general, hipótesis secundarias, variables. Operacionalización de la Variables, metodología, tipo de investigación, nivel de investigación, método y diseño de la investigación, población y muestra de la investigación, técnicas e instrumentos de la recolección de datos, justificación, importancia, limitaciones. Segundo Capítulo; incluye antecedentes del problema, bases teóricas, definición de términos básicos. Tercer Capítulo; Presentación, Análisis E Interpretación de Resultados. Cuarto Capítulo; incluye proceso de contraste de hipótesis. Quinto Capítulo, discusión de resultados. Matriz de consistencia y anexos.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
Portada	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Resumen	iv
Abstract	v
Introducción	vi

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

1.1. Descripción de la realidad problemática	01
1.2. Delimitación de la investigación	02
1.2.1. Delimitación espacial	02
1.2.2. Delimitación social	03
1.2.3. Delimitación temporal	03
1.2.4. Delimitación conceptual	03
1.3. Problemas de investigación	03
1.3.1. Problema principal	03
1.3.2. Problemas secundarios	04
1.4. Objetivos de la investigación	04
1.4.1. Objetivo general	04
1.4.2. Objetivos específicos	04
1.5. Hipótesis y variables de la investigación	05
1.5.1. Hipótesis general	05
1.5.2. Hipótesis secundarias	05
1.5.3. Variables de la Investigación	05
1.6. Metodología de la investigación	07
1.6.1. Tipo y nivel de investigación	07
a) Tipo de investigación	07
a) Nivel de investigación	07
1.6.2. Método y diseño de la investigación	07
a) Método de investigación	07
b) Diseño de investigación	07
1.6.3. Población y muestra de la investigación	08
a) Población	08
a) Muestra	08
c) Técnicas	08
d) Instrumentos	08
1.6.5. Justificación, importancia y limitaciones de la investigación	09
a) Justificación	10
b) Importancia	10
b) Limitaciones	11

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación	12
2.2. Bases teóricas	14
2.3. Definición de términos básicos	46

CAPÍTULO III: PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

3.1. Resultados del trabajo de investigación	52
3.1. Análisis e Interpretación de Resultados	52

CAPÍTULO IV: PROCESO DE CONTRASTE DE HIPÓTESIS

4.1. Prueba de hipótesis general	100
4.2. Prueba de hipótesis específicas	101

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

a) Conclusiones	102
b) Recomendaciones	104
c) Referencias	105
Anexos	107

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Operacionalización de Variables	06
Tabla 2. Instrumentos útiles de escritorio	09
Tabla 3. Categorías fundamentales del mantenimiento	18
Tabla 4. Tipos de Falla	22
Tabla 5. Instrumento para el estudio de Tiempos	24
Tabla 6. Causas de Incremento de la Viscosidad	30
Tabla 7. Pasos para Implementar un Programa de MBC	34
Tabla 8. Etapas diferenciables de la Gestión de Mantenimiento	35
Tabla 9. Muestra Tractores Proyecto Tantahuatay	53
Tabla 10. Cuadro de la metodología Lean Belt	54
Tabla 11. Eventos no programados por sistema predictivo	55
Tabla 12. Horas de parada por costo de la flota	57
Tabla 13. Porcentaje de disponibilidad ANTES	60
Tabla 14. Falla de la flota Tractores Oruga Caterpillar®	61
Tabla 15. Límites máximos permisibles de análisis de aceite	66
Tabla 16. Muestras de termografía de Tractores Oruga	74
Tabla 17. Tecnologías Predictivas - Análisis de vibración	75
Tabla 18. Tecnologías Predictivas - Análisis de aceite	77
Tabla 19. Tecnologías Predictivas de Termografía	79
Tabla 20. Plan de implementación de las 5 "S"	82
Tabla 21. Matriz para la verificación de la hipótesis A	87
Tabla 22. Matriz para la verificación de la hipótesis B	89
Tabla 23. Matriz para la verificación de la hipótesis C	90
Tabla 24. Matriz para la verificación de la hipótesis D	92
Tabla 25. Matriz de acción para eliminar las Causas Raíces	94
Tabla 26. Implementación de las mejoras	95

Tabla 27. Implementación de la Fase a Utilizar	96
Tabla 28. Plan de implementación - mantenimiento predictivo	98
Tabla 29. Porcentaje de disponibilidad DESPUÉS	98
Tabla 30. Producción mes junio y julio 2016	99
Tabla 31. Matriz de Consistencia	108
Tabla 32. Registros de muestras de aceite	110

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Plano de ubicación del Proyecto Tantahuatay	14
Figura 2. Analizador de vibraciones	27
Figura 3. Integración de tecnologías – Fortalezas y Debilidades	29
Figura 4. Problemas en los motores de los equipos	32
Figura 5. Termómetro IR	32
Figura 6. Programas de mantenimiento	33
Figura 7. Pasos del pensamiento Lean	37
Figura 8. Claves para la filosofía Lean	37
Figura 9. Modelo de construcción del Árbol de Falla	40
Figura 10. Tractores D6T-XL	42
Figura 11. Cronómetro de parada de funcionamiento	44
Figura 12. Tractores D8T	45
Figura 13. Metodología FOCUS	53
Figura 14. Disponibilidad de los equipos en estudio	56
Figura 15. Costo de la flota de tractores 2016	58
Figura 16. Diagrama de Ishikawa	59
Figura 17. Fallas de la flota de Tractores Oruga Caterpillar®	60
Figura 18. Diagrama causas de paradas no programadas	62
Figura 19. Análisis de desplazamiento	63
Figura 20. Análisis de velocidad	64
Figura 21. Análisis de aceleración	65
Figura 22. Toma de muestra de aceite	66
Figura 23. Análisis de aceite - condición de vibraciones junio 2016	67
Figura 24. Análisis de aceite - condición de vibraciones julio 2016.	68
Figura 25. Análisis de aceite - condición de vibraciones agosto 2016	68

Figura 26. Análisis de aceite - condición de vibraciones agosto 2016	69
Figura 27. Análisis de aceite - condición de vibraciones setiembre 2016	70
Figura 28. Análisis de aceite y condición de vibraciones setiembre 2016	71
Figura 29. Análisis de aceite y condición de vibraciones octubre 2016	72
Figura 30. Análisis de aceite y condición de vibraciones octubre, 2016	73
Figura 31. Resumen del análisis de aceite de la muestra en estudio	73
Figura 32. Resumen de Análisis de vibración Junio – noviembre 2016	76
Figura 33. Resumen de Análisis de aceite de junio a noviembre 2016	77
Figura 34. Resumen de Análisis de termografía de junio a noviembre 2016	79
Figura 35. Selección de herramientas A y B	83
Figura 36. Clasificación de herramientas	83
Figura 37. Estandarización de mejora	84
Figura 38. Mantener los estándares de limpieza	84
Figura 39. Etapa Disciplina utilizar	85
Figura 40. Etapa Disciplina utilizar correctamente estándares	85
Figura 41. Analizar causa raíz- Hipótesis A	86
Figura 42. Equipo sin mantenimiento predictivo	87
Figura 43. Analizar causa raíz- Hipótesis B	88
Figura 44. Convertidor catalítico averiado	89
Figura 45. Analizar causa raíz- Hipótesis C	90
Figura 46. Analizar causa raíz- Hipótesis D	91
Figura 47. Almacén de Proyecto Tantahuatay 2016	92
Figura 48. Árbol lógico paradas no programadas	93
Figura 49. Análisis del proceso de mantenimiento predictivo	96
Figura 50. Producción de junio y julio después del plan de implementación	99
Figura 51. Formato de muestras de análisis de aceite, 2016	109
Figura 52. Lista de cotejo Proyecto Tantahuatay	111
Figura 53. Reunión de performance Tantahuatay	112

Figura 54. Disponibilidad de equipos Tantahuatay	113
Figura 55. Total de viajes de los equipos Tantahuatay 2016.	114
Figura 56. Plan de Producción Tantahuatay 2016	115
Figura 57. Data de programación de equipos Tantahuatay	116
Figura 58. Ficha de Evaluación Trabajos de mantenimiento	117
Figura 59. Top Soil Proyecto Tantahuatay	118
Figura 60. Ficha de Evaluación trabajos de almacén	119
Figura 61. Hoja de trabajo de evaluación de riesgos.	120
Figura 62. Disponibilidad de equipos Tantahuatay.	121
Figura 63. Listado de peligros y aspectos ambientales	122
Figura 64. Volumen chorreado mina Tantahuatay	123
Figura 64. Verificación de la lista de cotejo	124

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

1.1. Descripción de la realidad problemática

En Latinoamérica el 35% de industrias utilizan cada máquina después de un determinado período de operación y se someten a un desmontaje total o parcial para su inspección y en casos de que existan defectos, proceder a la reparación inmediata. En el Perú el 32% de industrias utilizan metodologías para el desarrollo de planes de mantenimiento. En Cajamarca de un 40% sólo el 17% de industrias utilizan metodologías con mantenimiento predictivo es decir que el funcionamiento y la operación de las máquinas tenga lugar en condiciones seguras, para la integridad de la propia máquina. (Sánchez, 2007)

Por lo que el presente estudio de investigación, se enfocó en mejorar el mantenimiento predictivo utilizando la Metodología Lean Belt en la Flota de Tractores Oruga Caterpillar® de la Empresa Ferreyros S.A. en el Área de Operaciones de Carguío y Acarreo del Proyecto Tantahuatay – Cajamarca 2016. La realidad de la problemática se debe a la baja disponibilidad de los equipos que incrementó en los costos operacionales de mantenimiento que impacta negativamente el presupuesto de la empresa, genera baja confiabilidad operacional. Con el uso de la Metodología Lean Belt se mejoró la disponibilidad de la muestra de estudio, se redujo las paradas no programadas, se implementó los planes de trabajo en base a una estrategia con el área de planeamiento, se utilizó la implantación de mejora

gracias a las 5”S”. Se identificó y controló las causas de falla de la maquinaria, además sirvió de indicador para anticipar estados de fallas que son aportes invaluable para la Programación y Planificación del Mantenimiento de la Empresa Minera Coimolache.

Actualmente, no se conoce con precisión de una implementación de mejora en mantenimiento predictivo utilizando la Metodología Lean Belt en la flota de Tractores Oruga Caterpillar® de la Empresa Ferreyros S.A. en el Área de Operaciones Tantahuatay – Cajamarca 2016, se realizó un análisis periódico de vibraciones para detectar el 70% de problemas presentados por los mismos. Lo que impide formular políticas de control o disminución de disponibilidad en Tractores Oruga Caterpillar® de la Empresa Ferreyros S.A.

En este contexto, la presente tesis profesional se enfocó en mejorar la reducción de paradas imprevistas por falta de mantenimiento predictivo, de Tractores Oruga Caterpillar® de la Empresa Ferreyros S.A. Así como también los costos operativos de la estrategia de la fase limpieza y el uso de tecnologías predictivas como el análisis de vibraciones, análisis de lubricantes y la termografía, que identificaron y controlaron las causas de falla de la maquinaria, luego se implementará y se verificará los resultados.

1.2. Delimitación de la Investigación

1.2.1. Delimitación espacial

La presente tesis profesional se ejecutó, en el Área de Operaciones de Carguío y Acarreo de la Compañía Minera Coimolache S.A. Proyecto Tantahuatay – Cajamarca 2016, ubicado en la Provincia de Hualgayoc, Departamento de Cajamarca - Perú.

1.2.2. Delimitación social

El grupo social objeto de estudio de la presente tesis profesional es el personal que trabaja en el Área de Operaciones de Carguío y Acarreo del Proyecto Tantahuatay, de la Compañía Minera Coimolache S.A.

1.2.3. Delimitación temporal

La presente tesis profesional se realizó desde el 01 de junio de 2016 al 01 de noviembre de 2016.

1.2.4. Delimitación conceptual

Para la mejora del mantenimiento predictivo se utilizó la metodología Lean Belt que es el método más conocido de mejora continua que diagnosticó problemas en los quipos como indicador para anticipar los estados de fallas que son aportes invaluable para la Programación y Planificación del Mantenimiento de la Empresa.

1.3. Problemas de Investigación

1.3.1. Problema Principal

¿Cómo influye el uso la metodología Lean Belt en la mejora del mantenimiento predictivo de en la flota de Tractores Oruga Caterpillar® de la Empresa Ferreyros S.A. en el Área de Operaciones del Proyecto Tantahuatay – Cajamarca 2016?

1.3.2. Problema Secundarios

¿Cómo afecta la eficiencia de la flota de Tractores Oruga Caterpillar® que carecen de mantenimiento predictivo de la Empresa Ferreyros S.A. en el Área de Operaciones del Proyecto Tantahuatay – Cajamarca 2016?

¿Cuál es el incremento de la disponibilidad al aplicar el mantenimiento predictivo en el Área de Operaciones del Proyecto Tantahuatay – Cajamarca 2016?

¿Cuál es el beneficio económico que genera el efecto del mantenimiento predictivo utilizando la metodología Lean Belt a la Empresa Ferreyros S.A.?

1.4. Objetivos de la Investigación

1.4.1. Objetivo General

- Determinar la influencia del uso de la Metodología Lean Belt en el mejoramiento del mantenimiento predictivo en la flota de Tractores Oruga Caterpillar® de la Empresa Ferreyros S.A. en el área de operaciones del proyecto Tantahuatay – Cajamarca 2016.

1.4.2. Objetivo Específicos

- Determinar la eficiencia de la Flota de Tractores Oruga Caterpillar® que carecen de mantenimiento predictivo de la Empresa Ferreyros S.A. en el Área de Operaciones del Proyecto Tantahuatay – Cajamarca 2016.

- Determinar el incremento de la disponibilidad al aplicar el mantenimiento predictivo en el Área de Operaciones del Proyecto Tantahuatay – Cajamarca 2016.
- Determinar el beneficio económico que genera el efecto del mantenimiento predictivo utilizando la metodología Lean Belt a la Empresa Ferreyros S.A.

1.5. Hipótesis y Variables de la Investigación

1.5.1. Hipótesis General

H: El uso de la Metodología Lean Belt, influye significativamente en la mejora del mantenimiento predictivo de la Flota de Tractores Oruga Caterpillar® de la Empresa Ferreyros S.A. en el Área de Operaciones del Proyecto Tantahuatay – Cajamarca 2016

1.5.2. Hipótesis Secundarias

- La eficiencia se incrementa significativamente al aplicar el mantenimiento predictivo en el Área de Operaciones del Proyecto Tantahuatay – Cajamarca 2016.
- La disponibilidad se incrementa significativamente al aplicar el mantenimiento predictivo en el Área de Operaciones del Proyecto Tantahuatay – Cajamarca 2016.
- El beneficio económico se incrementa al aplicar del mantenimiento predictivo utilizando la metodología Lean Belt a la Empresa Ferreyros S.A.

1.5.3. Variables de la investigación

V.I: Metodología Lean Belt.

V.D: El mantenimiento predictivo

1.5.4. Operacionalización de la variables de la investigación

TABLA 1. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	TÉCNICA
V.I: Metodología Lean Belt	Metodología que procura determinar la aplicación de la herramienta Lean para mejoramiento en los negocio. Se refiere a la descripción de una empresa	Criticidad de los equipos	Medición de análisis de aceite	Análisis de laboratorio
			Temperatura menor a 65°C.	Análisis del taller
		Mecanismos de una falla y las consecuencias	Eficiencia del equipo (%)	Análisis del taller
				Registro de datos
		Herramienta Lean.	Técnica 5 "S"	Taller de mantenimiento
Pautas de las 5 S	Taller de mantenimiento			
V.D: El mantenimiento predictivo de la flota de Tractores Oruga Caterpillar® de la Empresa Ferreyros S.A.	Es una herramienta que permiten detectar con suficiente anticipación cambios en las condiciones mecánicas, eléctricas y operacionales de la maquinaria.	Operación óptima del equipo	- Vibración menor a 11mm/seg -Temperatura menor a 65°C.	Registro de datos en Software
		Mantenimiento predictivo	- Análisis de lubricantes	Análisis de laboratorio
			- Termografía.	Registro de datos en Software
		- Análisis de vibraciones	Análisis de laboratorio	
Falla del equipo.	-Signos de contaminación de Fe, Al, Cr, Sn, superior a 15 ppm.	Análisis de laboratorio		

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Para este trabajo de investigación se utilizó, datos obtenidos en campo y laboratorio de la Empresa Ferreyros S.A. para poder elaborar los análisis estadísticos.

Se elaboró un detalle básico utilizando los últimos meses de los informes al aplicar la metodología Lean Belt. Así mismo se hizo comparaciones y observaciones últimas de todo el año.

1.6. Metodología de la Investigación

1.6.1. Tipo y Nivel de Investigación

a) Tipo de Investigación

La presente tesis profesional es de tipo aplicativa, pre experimental, porque realizó un análisis de las operaciones de producción (carguío) y evaluó sus comportamientos en la Flota de Tractores Oruga Caterpillar®.

b) Nivel de Investigación

De acuerdo a la naturaleza del estudio a ejecutar reúne características de un estudio descriptivo, comparativo y finalmente pasar a un nivel explicativo.

1.6.2. Método y Diseño de la Investigación

a) Método de investigación

En el presente trabajo de investigación se utilizó el método empírico, la observación, así como el método teórico para llegar de lo inductivo y a lo deductivo se utilizó los métodos de análisis y síntesis; para determinar los factores que afectan la Flota de Tractores Oruga Caterpillar® de la Empresa Ferreyros S.A.

b) Diseño de investigación

El enfoque de la investigación fue de tipo cuantitativa, porque demostró los resultados expresado en cantidades, las que permitieron tomar una decisión. También se hará un diseño descriptivo para conocer el estado actual de la operación minera, para mejorar el servicio en el Área de Operación de Carguío y Acarreo del Proyecto Tantahuatay.

1.6.3. Población y muestra de la investigación

a) Población

Se consideró como universo a todos los equipos en mantenimiento preventivo, establecidos por todos los Tractores Oruga Caterpillar® de la Empresa Ferreyros S.A durante el año 2016.

b) Muestra

Establecida por el número de mediciones que ejecutan la Flota de 6 unidades en total (D6T XL) y 2 unidades (D8T) Tractores Oruga Caterpillar® de diferente serie del Área de Operaciones Mina, durante el periodo del 01 de junio al 01 de noviembre de 2016.

1.6.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

a) Técnicas

Para la recolección de la información, las técnicas empleadas fueron: Observación Directa: Formatos registros, hoja de reportes de equipos, fichas técnicas, procedimientos de carguío documentados en la data para encontrar los detalles de baja disponibilidad en la flota en estudio.

b) Instrumentos

Los instrumentos empleados para la elaboración del presente trabajo de investigación, mediante el uso de la metodología Lean Belt para mejora del mantenimiento predictivo de la flota de tractores oruga Caterpillar® de la empresa Ferreyros S.A. en el área de operaciones del proyecto Tantahuatay – Cajamarca 2016.

Los instrumentos son fuente importante para la elaboración de la investigación, obteniendo resultados de muestras in situ para prever el incremento de costos de manteniendo, costos de producción, horas no programadas, deficiente confiabilidad y disponibilidad de la flota de tractores oruga Caterpillar®. Los instrumentos utilizaron fueron:

- Estudio de campo.

- Fichas de registro.

1.6.5. Justificación, Importancia y Limitaciones de la Investigación

a) Justificación

La importancia del presente trabajo de investigación, radica que en los últimos 20 años, la situación actual de las industrias se basaron en su confiabilidad y disponibilidad para aumentar la vida de sus equipos por lo que utilizan nuevas estrategias de mantenimiento predictivo, las cuales permitirán alertar con semanas y meses de anticipación de manera simultánea fallas eléctricas y mecánicas.

A nivel mundial el 65% las industrias se proyectan en aumentar la productividad sin incrementar sus costos, lo que obliga a las compañías a buscar estrategias de mejora para optimizar sus niveles de producción y permanecer competitivas y exigir mayor capacitación del personal.

En Perú el 39% de industrias utilizan metodologías para el desarrollo de planes de mantenimiento. En Cajamarca el 17% de industrias utilizan metodologías con mantenimiento predictivo como la Empresa Minera Yanacocha S.R.L. en sus diferentes áreas de mantenimiento. Por lo que, los resultados de la presente investigación permitirán mejorar el proceso de mantenimiento predictivo y adelantar las fallas para evitar pérdidas económicas de la Empresa Ferreyros S.A. (MIMV, 1998).

En Cajamarca, en la Provincia de Hualgayoc en el proyecto de Tantahuatay, de la Compañía Minera Coimolache, advierten la baja disponibilidad de los equipos, incremento en los costos operacionales de mantenimiento que impacta negativamente al proyecto.

Los resultados permitirán mejorar el proceso de mantenimiento predictivo así como los indicadores de disponibilidad mecánica de la flota de Tractores Oruga Caterpillar® y lograr adelantar a las fallas para evitar pérdidas económicas para la empresa, utilizando el Diagrama de Ishikawa, para identificar el recorrido y el tiempo que no genera valor, las 5 S y se realizó análisis de vibraciones, análisis de aceite y termografía infrarroja.

Además, los aportes del presente trabajo de investigación servirán de guía para otros investigadores interesados en el tema, así como institutos y universidades que desarrollan programas de mantenimiento predictivo.

b) Importancia

La importancia del presente trabajo de investigación se orientó en mejorar la eficiencia de mantenimiento predictivo en el Proyecto Tantahuatay, utilizando la metodología Lean Belt, para incrementar la disponibilidad y reducción de paradas innecesarias y buscar la mejora continua.

c) Limitaciones

En el desarrollo del presente trabajo de investigación se consideró las siguientes limitaciones, horario atípico de trabajo, escasa información sobre el tema, la carga de trabajo, coste de personal y el turno de guardia en el área de operación minera.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

En México, en la Tesis “Aplicación de la Metodología Lean Belt, en la mejora del desempeño en el consumo de combustible de un vehículo en las condiciones de uso del mismo” se concluyó que los valores de rendimiento se obtuvieron en condiciones controladas de laboratorio, que bien pueden no ser reproducibles ni obtenerse en condiciones y hábitos de manejo convencional, debido a condiciones climatológicas, de combustible, condiciones topográficas hábitos de manejo para poder incrementar la disponibilidad del vehículo, y lograr su máxima rendimiento y ahorro de combustible. **(Sánchez 2007)**

En la Universidad de Oriente Núcleo de Anzoátegui de Venezuela, en la Facultad de Ingeniería, en la Tesis denominada “Implementación del Mantenimiento Predictivo basado en el análisis de Vibración en la Empresa C.V.G. Ferrominera Orinoco C.A.” Referencia el trabajo cuya finalidad es evaluar y presentar soluciones a la problemática planteada por medio del diagnóstico de fallas incipientes en los equipos, lo cual sirvió de base para mejorar los programas de inspección y mantenimiento, cumpliendo de ese modo con los lineamientos para la reducción de demoras por fallas en los equipos rotativos de las cintas transportadoras de la planta de procesamiento del mineral de hierro de la empresa C.V.G. Ferrominera Orinoco C.A, de una manera más efectiva. **(Rivas, 2003)**

En Perú en la Tesis “Mejora del proceso de galvanizado en una empresa manufacturera de alambres de acero aplicando la Metodología Lean Six Sigma”, concluye que es indispensable que los directivos, jefes y trabajadores colaboren con la nueva metodología a implementar para que alcancen los objetivos deseados en el plazo establecido y con el presupuesto planificado. En la fase de definición se identifica el problema principal del área de galvanizado mediante una matriz de enfrentamiento que considera los factores de frecuencia, pérdidas mensuales y facilidad de implementación para cada uno de los problemas encontrados. De esta manera, se tiene como principal problema el alto consumo de zinc representando un exceso de consumo de 55 g/m². Además se identifican los desperdicios en base al mapa de flujo de valor, el cual es un entregable de la fase medición. **(Barahona & Navarro, 2013)**

En Perú, en el Departamento de Arequipa en la Universidad Nacional de San Agustín, en la Tesis “Comparación de la productividad del cargador frontal CAT 980 G y la excavadora CAT 345 LB, Utilizando la Metodología Sigma, para la selección de equipo de carguío en Comarsa”, se concluyó que para determinar la producción y la eficiencia de los equipos de carguío, es importante tener un control detallado de los tiempos de cada actividad realizada durante el turno de cada actividad de operación, y a la vez clasificarlas en horas efectivas de operación, por lo que se concluyó que la eficiencia de operación no siempre determina la selección del equipo conveniente, por lo que conviene calcular la productividad; que mediante un análisis de costos nos permita comparar dos equipos: Las excavadoras CAT 345LB en el tajo Tentadora, deben ser reemplazadas por cargadores frontales CAT 980G ya que representarían un ahorro de 24 700 US\$ mensuales para las operaciones de carguío en este tajo. **(Barrantes, 2010)**

En la base de datos de la biblioteca de la Universidad Alas Peruanas Filial Cajamarca se indagó sobre alguna documentación con las características de este trabajo de investigación, no se encontró ninguna información relacionada con la mejora del mantenimiento predictivo utilizando la metodología Lean Belt en la flota de Tractores Oruga Caterpillar® de la Empresa Ferreyros S.A. en el Área de Operaciones del Proyecto

Tantahuatay – Cajamarca 2016”, por lo que la presente Tesis Profesional se cataloga como el primer trabajo de esta longitud.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Ubicación del proyecto en ejecución

La presente tesis profesional se encuentra ubicada geográficamente en la micro cuenca Puente de la Hierba que corresponde al río Tingo. El río Tingo es tributario del río Llaucano y este último pertenece a la cuenca hidrográfica del océano Atlántico. Su ubicación política corresponde a la Comunidad Campesina el Tingo, en el distrito de Hualgayoc, provincia de Hualgayoc, departamento de Cajamarca. (EsIA, 2008)

El área del proyecto comprende 337 ha aproximadamente y en ella se encuentran ubicadas las instalaciones mineras y auxiliares. La duración de la etapa de construcción será de aproximadamente 10 meses y requerirá de 400 a 450 trabajadores aproximadamente.



Figura 1. Plano de ubicación del Proyecto Tantahuatay.
Fuente: Google Earth-2016.

Ubicación

El Proyecto Tantahuatay, está ubicado distrito de Hualgayoc, provincia de Hualgayoc, departamento de Cajamarca. El área del proyecto, ubicada a una altitud que varía entre los 3 750 y 4 050 m.s.n.m. situado en la Comunidad Campesina el Tingo, en el (EslA, 2008)

Topografía y fisiografía

La topografía del área del proyecto es accidentada en la zona donde se ubica el tajo Tantahuatay. Presenta una fisiografía que se caracteriza por presentar cadenas montañosas de la divisoria continental de aguas de las cuencas del Pacífico y del Atlántico de los Andes del Norte de Perú. En la parte intermedia de ambas geoformas se presentan colinas o cerros de poca elevación, lagunas glaciares colgadas y circos glaciares. (EslA, 2008)

Actualmente el drenaje de la región es el producto de la actividad progresiva de la erosión pluvial y glacial controlada por la orientación de las fallas regionales y locales durante el levantamiento andino. Esta serie de fallas regionales y locales establecen un control estructural y definen la dirección de flujo de las aguas subterráneas y probablemente hayan generado un sistema de permeabilidad secundaria en profundidad, el que se deberá tener en cuenta cuando se realicen las labores de desarrollo de la mina. (EslA, 2008)

La geomorfología

La geomorfología en la zona de estudio del Proyecto Tantahuatay en el área del proyecto, está constituida por cuatro unidades principales (Montañoso, Colinas, Laderas y Valles glaciares – aluviales) y dentro de ellas, se han efectuado divisiones menores de unidades fisiográficas. (EIA, 2008)

Clima y meteorología

Temperatura: En cuanto a la temperatura la información se obtuvo de dos estaciones meteorológicas, Hualgayoc y Carolina. En la estación Hualgayoc las temperaturas promedio anuales fluctúan entre 7,2°C y 8,4°C. La temperatura mínima promedio (2,9°C). En la estación Carolina, la temperatura media anual registrada fue 8,4°C para ese mismo periodo. (EsIA, 2008)

Precipitación: Se consideraron las estaciones meteorológicas de Hualgayoc, Bambamarca, Llapa, Quebrada Honda, Carachugo, Maqui Maqui y Yanacocha. Precipitación anual promedio de 1 336,0 mm. La máxima precipitación anual registrada asciende a 1 658,2 mm y la mínima precipitación anual es de 948,5 mm. (EsIA, 2008)

Calidad de aire

En cuanto a la calidad del aire presenta partículas respirables que se alojan en los alveolos pulmonares, estas partículas demoran en expandirse de acuerdo a su tamaño en horas, días, semanas, se les clasifica como partículas PM₁₀, PM_{2.5} y otras menores, según su diámetro aerodinámico promedio sea menor a 10μ (PM₁₀), 2,5μ (PM_{2.5}) y otros. Los promedios de las concentraciones se encontraron por debajo del estándar anual de 50μg/m³, lo que significa que la calidad de Aire en esta zona se encuentra dentro de los niveles recomendables. (EsIA, 2008)

Ruido y vibración

Las principales fuentes de ruido presentes durante las mediciones correspondieron a aves, ríos o canales, viento, animales (e.g. ganado, perros, otros), habitantes y ruido proveniente de faenas mineras aledañas al proyecto. De acuerdo con lo verificado en el terreno, los puntos evaluados para ruido pertenecen a la categoría Zona Residencial. Los resultados de las mediciones de los niveles de ruido en

los receptores, en especial los correspondientes a viviendas existentes, no superaron los valores máximos permitidos por la norma vigente. (EsIA, 2008)

Geología

Según el Cretácico inferior se puede afirmarse que en el área del proyecto y sus alrededores, afloran rocas sedimentarias, principalmente calcáreas de edad cretácica, de la Formación Pariatambo y Grupo Puyllucana. En cuanto a la geología estructural, en el área del proyecto se presentan tres sistemas de fallas principales. El sistema de fallas de dirección NO, cuyas fallas son coincidentes con la dirección andina y son cortadas por fallas NE; movimientos tectónicos sucesivos produjeron fallas de dilatación EO que generalmente están mineralizadas. (EsIA, 2008)

Suelos

Los suelos se identificaron en 8 subgrupos, los cuales han sido agrupados en 3 asociaciones y 11 asociaciones. A su vez, las asociaciones han sido divididas en 8 asociaciones edáficas y 3 asociaciones edáficas con misceláneo roca. Las tres micro cuencas (Tres Amigos, Puente de la Hierba y Río Colorado) poseen un coeficiente de compacidad cercano a uno. La clasificación del uso actual de la tierra ha sido realizada teniendo como base la clasificación propuesta por la Unión Geográfica Internacional (UGI). En el área de estudio, el pastoreo constituye el uso principal de la vegetación y por tanto el uso de la tierra consiste en mantener dicha vegetación, la cual está conformada por pastos naturales de los géneros *Stipa*, *Calamagrostis*, *Festuca* y *Poa*. (EsIA, 2008)

2.2.2. Mantenimiento

El mantenimiento es un conjunto de actividades que deben realizarse a instalaciones y equipos, con el fin de corregir o prevenir

fallas, buscando que éstos continúen prestando el servicio para el cual fueron diseñados, es evidente, para que los equipos e instalaciones se mantengan en buen funcionamiento por sí mismos, debe organizarse un grupo de personas para que se encargue y se constituya una "organización de mantenimiento" (Rodríguez, 2012).

El mantenimiento está supeditado a operaciones, en el sentido que el servicio al cliente se considera primordial, repercute directamente en la calidad del servicio e incrementa injustificadamente los costos totales de la empresa. La confiabilidad de la planta está relacionada con el nivel de mantenimiento. (ASME, 2003)

TABLA 3. CATEGORÍAS FUNDAMENTALES DEL MANTENIMIENTO

CATEGORÍAS	
Categorías	Características
Prevenir o disminuir el riesgo de fallas	Busca bajar la frecuencia de fallas y/o disminuir sus consecuencias, como visión más básicas del mantenimiento.
Recuperar el desempeño	Con el uso de los equipos el desempeño se puede ver deteriorado por dos factores principales: Pérdida de capacidad de producción y/o aumento de costos de operación, como cambios de filtros de gas, aceite, lavado de compresores axiales, etc.
Aumentar la vida útil/diferir inversiones:	La vida útil de algunos activos se ve seriamente afectada por la frecuencia/calidad del mantenimiento
Seguridad, ambiente y aspectos legales:	Muchas tareas de mantenimiento están dirigidas a disminuir ciertos problemas que puedan acarrear, responsabilidades legales relativas a medio ambiente y seguridad.
Factor Brillo:	La imagen pública, aspectos estéticos de bienes, la moral de los trabajadores, etc. Son factores importantes a la hora de elegir tareas e intervalos de mantenimiento.

Fuente: Revista (ASME, 2003).

2.2.2.1. Tipos de mantenimiento

Diversos autores manejan diferentes nombres o diferentes tipos, en esencia se puede decir que existen tres tipos de mantenimiento, que son:

a. Mantenimiento correctivo

Conocido como mantenimiento a la rotura o mantenimiento por fallas. En este tipo de mantenimiento se permite al activo funcionar hasta la falla; en ese instante se realiza la reparación o reemplazo de todas las piezas dañadas. Generalmente la reparación de la falla se lleva a cabo de manera urgente y el equipo no puede usarse antes de ser reparado. (ASME, 2003)

- Permitir la rotura o falla de un componente de una máquina puede ser muy costoso.
- La falla puede ocurrir a una hora inconveniente, o si el equipo es móvil, en un lugar inconveniente, de manera que no estará disponible ni el personal ni las refacciones necesarias para su reparación.
- Hay plantas que no pueden ser paradas de un momento a otro, ya sea porque proveen un servicio esencial o porque manejan productos tales como alimentos o materiales fundidos los cuales se deteriorarán si la planta se detiene repentinamente.

b. Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo o basado en el tiempo consiste en reacondicionar un equipo o sustituir a intervalos regulares sus componentes, independientemente de su estado en ese momento, incluso aun cuando la máquina esté operando satisfactoriamente. Su propósito es

prever las fallas manteniendo los sistemas de infraestructura, equipos e instalaciones productivas en completa operación a los niveles de eficiencia óptimos.

Las fallas ocurren con diferentes tasas durante la vida de un producto. Una tasa de falla inicial alta, conocida como mortalidad infantil, puede existir para muchos productos, por esta razón es que muchas empresas de electrónica “queman” sus productos antes de sacarlos al mercado; es decir, ejecutan una serie de pruebas para determinar problemas de arranque antes de su entrega. Una vez que el equipo o maquina se “asienta”, es posible realizar un estudio de la distribución probabilística del tiempo medio entre fallas (MTBF, por sus siglas en inglés). Estos tiempos suelen seguir una curva normal. (ASME, 2003)

c. Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo o basado en la condición se evalúa la condición mecánica y eléctrica de la máquina y su evolución mientras ésta se encuentra funcionando, del cual especificaremos al detalle en el punto de productividad.

2.2.2.2. Productividad

La Productividad se define como la relación que existe entre los recursos y los productos de un sistema productivo. Esto se refiere a la utilización eficiente e inteligente de los recursos al producir bienes y/o servicios.

Se mide como el cociente entre la producción y recursos. Los recursos pueden ser materia prima, mano de obra, capital, máquinas y herramientas.

$$\text{Productividad} = \frac{\text{Producción}}{\text{Recursos}}$$

Incremento de la Productividad

En los problemas para la mejora de métodos se presentan dos situaciones. Una “actual” en el momento en que se inicia el estudio y se analiza lo que sucede; y otra “propuesta” donde se plantean mejoras para elevar la productividad. Por lo tanto, ante esto podemos calcular el incremento de la productividad que se logrará por los cambios que se efectuaron:

$$P1= P1/R1 \text{ (Actual)}$$

$$P2=P2/R2 \text{ (Propuesto)}$$

$$\Delta P = \text{Propuesto} - \text{Actual} / \text{Actual} * 100$$

La esencia del mejoramiento de la productividad es trabajar de manera más inteligente, no más dura. No consiste en hacer las cosas mejor sino en hacer las cosas correctas.

2.2.2.3. Confiabilidad

Confiabilidad es una probabilidad, de que un equipo pueda operar sin fallas durante un periodo de tiempo, el principio de Confiabilidad se basan en analizar los desperdicios ocasionados por las “fallas”, estableciendo el control y prevención de las mismas, para mejorar la efectividad y rentabilidad del negocio. A menudo, estamos muy cerca del problema y no podemos observar el escenario del costo vs el beneficio en su globalidad. Para mejorar, necesitamos desglosar las posibles áreas de costos y de los beneficios correspondientes para poder examinar de manera crítica “cuanto logramos” en relación con “cuanto gastamos”. (Womack & Jones, (2001)

Sin embargo, la teoría que aplica la confiabilidad como una herramienta para el buen desempeño de los activos, se ocupa principalmente de las fallas de los sistemas, no obstante, no indaga tanto en los fenómenos que las causan como en la frecuencia con que ocurren. No es una teoría física de las fallas, sino una teoría estadística. Por lo que los datos que se toman para el análisis, son principalmente los “tiempos” relacionados con el activo, los cuales juegan un papel fundamental. Como conceptos principales tenemos:

TABLA 4. TIPOS DE FALLA

Falla ¹	TIPOS	DEFINICION
	Totales	Aquellas que causan incapacidad total del equipo.
	Parciales	Definidas como tales, aquellas que causan la degradación del servicio pero no incapacitan el funcionamiento total del equipo.
	Súbitas	Aquellas que ocurren instantáneamente.
	Progresivas	Cuando el equipo presenta síntomas y por lo que la falla se presenta gradualmente.

Fuente: (Womack & Jones, (2001).

2.2.2.4. Disponibilidad

El mantenimiento tiene objetivos fundamentales basados en la disponibilidad de los equipos, en tal sentido el mantenimiento consiste en maximizar la disponibilidad de máquinas y equipos para la producción. Preservar el valor de las instalaciones, minimizando el uso y el deterioro. Conseguir estas es la forma más económica posible y a largo plazo. (ASME, 2003)

2.2.2.5. Análisis y mejora de métodos

Son técnicas para lograr cambios, eliminar desperdicios de mano de obra, máquinas, materiales, instalaciones y dinero. Busca la rentabilidad de las organizaciones y el beneficio de los directivos, los profesionales y el recurso humano en

general. Es utilizado, en las empresas, para apoyar el progreso, la exactitud, objetividad y capacitación de los empleados. Es igualmente útil para tomar decisiones inteligentes dentro de la mejor política, técnica o curso de acción, en la realización de actividades diversas. (ASME, 2003)

El enfoque del estudio de métodos es de imaginación, creatividad y de diseño, para generar, simplificación del trabajo y reducción de costos. Se debe familiarizar con la estadística, el muestreo, la investigación, los movimientos y los tiempos. (ASME, 2003)

Fases:

- Seleccionar la tarea a estudiar
- Registrar todo lo relacionado con la tarea para una mayor comprensión de la misma.
- Examinar críticamente el método actual de la tarea para resaltar las deficiencias que pudiera presentar y poderle plantear mejoras.

2.2.2.6. Análisis del Proceso

Antes de proceder a la investigación de una operación específica en un proceso, debe estudiarse el proceso completo de hacer una pieza o un trabajo. Un estudio de conjunto de este tipo comprenderá generalmente un análisis de cada fase dentro del proceso (ASME, 2003).

2.2.2.7. Estudio de Tiempos

Meyers (2010). Menciona que es una técnica para determinar el tiempo estándar en la que se llevará a cabo una actividad, tomando en cuenta los factores personales tales como fatiga y

motivación. También puede ser útil un equipo de video grabación, presenta los siguientes objetivos:

- Minimizar el tiempo requerido para la ejecución de trabajos.
- Conservar los recursos y minimizar los costos.
- Efectuar la producción sin perder de vista la disponibilidad de energéticos o de la energía.

El equipo mínimo requerido para llevar a cabo un programa de estudio de tiempos incluye un cronómetro, una tabla, las formas para el estudio y una calculadora de bolsillo.

TABLA 5. INSTRUMENTO PARA EL ESTUDIO DE TIEMPOS

Instrumento	Características
Cronometro	Permiten tomar el tiempo de cualquier número de elementos individuales, mientras sigue contando el tiempo total transcurrido.
Tablero de estudio de tiempos	Cuando se usa un cronómetro, es conveniente tener una tabla adecuada para sostener la forma del estudio de tiempos y el cronómetro. La tabla debe ser ligera para que no se canse el brazo y fuerte para proporcionar el apoyo necesario para la forma.
Cámaras de videograbación	Las cámaras de video grabación son ideales para grabar los métodos del operario y el tiempo transcurrido. Al tomar película de la operación y después estudiarla un cuadro a la vez, el analista puede registrar los detalles exactos de método usado y después asignar valores de tiempo normales.

Fuente:(Womack & Jones, (2001).

2.2.3. Mantenimiento Predictivo

De 1914 a 1918 la industria de los países beligerantes dio prioridad a la guerra, por lo que ese tipo de industria trabajaba las 24 horas del día; además, sus productos debían tener buena calidad, ya que si fallaban podía costar la vida a sus usuarios.

También se tomó en cuenta la necesidad de que cada una de estas fábricas estuviera bien administrada, pues se tenían que tomar decisiones importantes, aún en sus escalones más bajos; sin embargo, el empirismo remaba en la administración de la industria en todos los escalones de dirección, desde el supervisor hasta el gerente general. (Garcés, 2011)

El pensamiento de W. Taylor no había logrado una manera científica de administrar, pero su libro Principios de Administración Científica proporcionó la información suficiente para que Henri Fayol, Ingeniero francés, en 1916 presentara su libro “Administración General e Industrial”, en el cual consideraba que toda administración estaba estructurada por la previsión, la organización, el mando, la coordinación y la fiscalización, aspectos que han permitido que el proceso administrativo actual sea más eficiente. (Garcés, 2011)

2.2.3.1. Importancia del mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo o basado en la condición se evalúa la condición mecánica y eléctrica de la máquina y su evolución mientras ésta se encuentra funcionando. Con base en los diversos síntomas que el equipo emite al exterior, se programan las necesidades de mantenimiento que se deben llevar a cabo para que la máquina siga funcionando de manera óptima. Para ello se usan instrumentos de diagnóstico, aparatos y pruebas no destructivas como análisis de lubricantes, análisis de vibraciones, diagnósticos de temperaturas y análisis de las corrientes de equipos eléctricos, etc. La hipótesis base

del mantenimiento predictivo supone que hay características medibles u observables, las cuales definen exactamente la condición de la máquina. (Garcés, 2011)

Estas características son monitoreadas y medidas durante la operación del equipo y se conocen como parámetros de indicación de falla debido a que su monitoreo continuo permite identificar cuando en un equipo se puede presentar una falla de manera incipiente.

Ventajas del mantenimiento predictivo:

- Reduce los tiempos de paro al conocerse exactamente qué parte de la máquina es la que falló.
- Permite seguir la evolución de un defecto en el tiempo.
- Optimiza la gestión del personal de mantenimiento. La verificación del estado de la maquinaria, tanto realizada de forma periódica como de forma esporádica, permite confeccionar un archivo histórico de su comportamiento mecánico y eléctrico.
- Se conoce con exactitud el tiempo límite de actuación que no implique el desarrollo de un fallo imprevisto.
- Permite la toma de decisiones sobre el paro de una línea de máquinas en momentos críticos.
- Facilita el análisis de las fallas.
- Permite el análisis estadístico del sistema.

2.2.3.2. Tecnologías Predictivas

Las tecnologías predictivas son herramientas que permiten detectar con suficiente anticipación cambios en las condiciones mecánicas, eléctricas y operacionales de la maquinaria a través del monitoreo de variables como temperatura, ultrasonido, vibración y se ejecuta al motor cuando está en actividad. (Rodríguez, 2002).

Rodríguez, (2002). Cada una de ellas tiene un campo de aplicación concreto, existiendo complementariedad, entre todas. En los

programas de mantenimiento basados en condición, se utilizan distintas herramientas predictivas que inspeccionan aspectos claves los cuales se mencionan a continuación:

a. Análisis de Vibraciones:

El análisis de vibraciones es la detección temprana de los problemas que permitan una mayor disponibilidad y mediante un análisis de la tendencia de la condición, estar en posibilidad de detectar problemas y condiciones que pudieran poner en riesgo la confiabilidad de la planta. (Rodríguez, 2002)

La vibración por sí misma no daña máquinas y estructuras, sino los daños son hechos por esfuerzos dinámicos, que causan fatiga a los materiales, toda maquinaria vibra implícitamente como parte de su operación normal, por lo que la vibración se relaciona con:

Instrumentos de Medición de Vibración

a. Parámetros de vibración

La Vibración tiene tres parámetros importantes que pueden ser medidos incluyen: Frecuencia, Amplitud y Fase de vibración.

FIGURA 2. ANALIZADOR DE VIBRACIONES



Fuente: Propia,2016

Frecuencia de vibración: Está relacionada con la onda en el tiempo, la Figura 16 muestra como la frecuencia puede ser calculada a través del periodo del tiempo (t) en un ciclo (segundo/ ciclo) e invirtiendo su valor, determinamos la frecuencia (ciclos/ segundo).

Amplitud en vibración: Está relacionada con el desplazamiento es la medida total del recorrido de la masa en sus posiciones inferior-superior y con la velocidad vibracional es una medida de cuán rápido la masa se está moviendo o vibrando durante sus oscilaciones. (Rodríguez, 2002)

Fase de vibración: La fase es la medida de cómo una parte está en movimiento (Vibrando) en relación con otra parte o un punto fijo de referencia.

La fase de vibración es medida en grados angulares usando una luz estroboscopia (Strobe Light) en uno u otro caso un strobe Light o una fotocelda electrónica. La Figura 21 nos muestra dos masas vibrando con una diferencia de fase de 90 grados.

b. Análisis de aceite

Es un conjunto de procedimientos y mediciones aplicadas al aceite usado en las máquinas y equipos, que facilitan el control tanto del estado del lubricante, como de manera indirecta permiten establecer el estado de los componentes. (Rodríguez, 2002)

Los procedimientos de análisis se pueden realizar en un laboratorio especializado, pero también pueden hacerse en el campo con ayuda de herramientas simples, el análisis de aceite garantiza una interpretación correcta de la información y puede establecer recomendaciones que no sólo incrementan la confiabilidad de la maquinaria sino que ayudan a ampliar su vida. (Rodríguez, 2002)

La combinación de estrategias es una manera de aprovechar las fortalezas de cada tecnología y superar sus debilidades, por lo que combinan el análisis de aceite con el análisis de vibración en un sólo grupo, efectuando el análisis de aceite en sitio (de rutina) y trabajan como un equipo, siendo los resultados excepcionales, y diferenciando que el análisis de aceite o de vibración es el responsable de la detección en determinados porcentajes. La pérdida de eficiencia por no aplicar una de esas tecnologías, reduce su resolución de detección y su habilidad para controlar las causas de falla de la maquinaria. (Rodríguez, 2002)

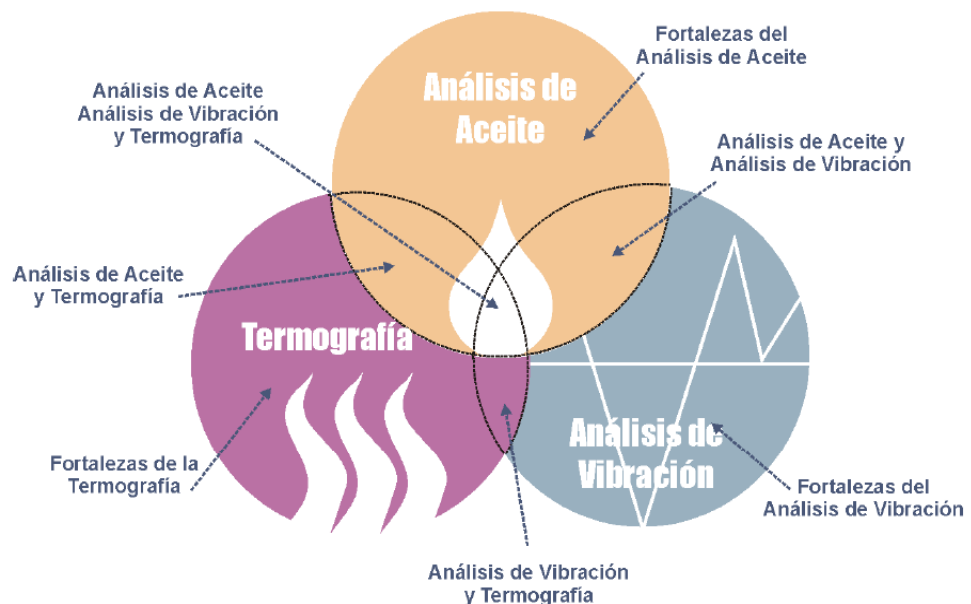


Figura 3. Integración de tecnologías – Fortalezas y Debilidades.

Ambas técnicas son requeridas para la identificación y control de causas de falla de la maquinaria. Una técnica sirve como indicador del inicio de la falla de la maquinaria, mientras que la otra sirve como un indicador de confirmación, además con aliados naturales en el logro de alta confiabilidad de la maquinaria (Rivas, 2003).

El **análisis de aceite** es más efectivo en la detección de fallas en cajas de engranes, rodamientos, cojinetes (chumaceras), sistemas

hidráulicos y equipo reciprocante y más fuerte en determinar el mecanismo de desgaste que induce la falla mientras que el **análisis de vibración** es más fuerte en la detección en sistemas de alta velocidad de chumaceras (cojinetes) y rodamientos lubricados por grasa.

- Estadísticas de mantenimiento de aceite

Díaz, (1994). Menciona a cerca del 25% de los rodamientos utilizados en equipo rotatorio fallan prematuramente debido instalaciones defectuosas y/o a prácticas pobres de lubricación. Cerca del 70% de las fallas en los sistemas que operan con fluidos lubricantes se deben a la contaminación de estos fluidos y falta de atención. Del 25 al 45% del presupuesto de operación en la industria del gas y petróleo se invierte en el mantenimiento del equipo mecánico. La lubricación inconsistente es la principal causa de la falla de los componentes mecánicos (60%), existiendo tipos de análisis de aceites como:

El aceite está relacionado con la viscosidad se especifica en el tabla 6:

TABLA 6. CAUSAS DE INCREMENTO DE LA VISCOSIDAD

Causas de Incremento o Decremento de la Viscosidad		
Viscosidad: es la medida de la resistencia que ofrece un fluido a fluir. -	Alta Viscosidad	- Pérdida o disminución del iv. - Dilución por combustible. - Grado de aceite inadecuado
	Baja Viscosidad	- Pérdida o disminución del iv. - Dilución por combustible. - Grado de aceite inadecuado
	Normas:	- ASTM D-88 @ 100 °F - 210°F(SSU). - ASTM D-445 @ 40 °C – 100°C (cSt)

Fuente: (Rivas, 2003).

c. Termografía Infrarroja:

La Termografía infrarroja permite “ver” el espectro infrarrojo de las ondas electromagnéticas. Los equipos miden la energía radiada por

un cuerpo y ésta es, normalmente, invisible para el ojo humano y la representa en una imagen. En el espectro electromagnético, la radiación infrarroja está en el rango de 0.7 a 100 μ m, fuera del campo visible para el ojo humano (0.4 a 0.7 μ m). La técnica de inspección termográfica permite “ver puntos calientes” generados por condiciones anormales de funcionamiento que de otra forma se transformarían en fallas con consecuencias no deseadas y costosas. (Saavedra, 2004).

La termografía de infrarrojos es el arte de transformar una imagen de infrarrojos en una imagen radiométrica que permita leer los valores de temperatura y es aplicada en algunos casos particulares para inspeccionar equipos rotativos como motores eléctricos, rodamientos y acoples; pero su mayor campo de aplicación y efectividad se observa en el monitoreo de equipos estáticos como hornos, líneas de tuberías, entre otros. La termografía infrarroja es no destructiva, no invasiva, es un mapeo de no contacto de patrones térmicos de la superficie de los objetos. (Saavedra, 2004)

Otros sistemas mecánicos que se supervisan con cámaras termográficas son conexiones, transmisiones, bombas, compresores, turbinas y cintas transportadoras. (Saavedra, 2004)

Ejemplos de averías mecánicas que se pueden detectar con la termografía: problemas de lubricación, errores de alineación, Motores, recalentados, rodillos sospechosos, bombas sobrecargadas, ejes de motor recalentados, rodamientos calientes.



Figura 1, zonas con remoción de material debido al desgaste abrasivo con un avanzado descascarillado en las pistas de rodadura



Figura 2, en paralelo el mismo fenómeno ocurre sobre la jaula ampliando el espacio de sujeción de los rodillos



Figura 3, cuando este espacio aumenta, los rodillos se salen de la jaula, logrando que los aros se traben, generando una falla catastrófica debido al bloqueo

Figura 4. Problemas en los motores de los equipos.

Fuente: (Saavedra, 2004)

Estas dificultades se detectan en una fase temprana mediante una cámara termográfica que ayudará a evitar que se produzcan daños.



Figura 5. Termómetro IR.

Fuente: (Saavedra, 2004)

2.2.4. Mantenimiento Basado en Condición (CBM)

La detección y diagnóstico de problemas en una máquina es el método de mantenimiento más conveniente, por lo que se pueden detectar problemas anticipadamente cuando los efectos que causan la falla son incipientes y no afectan por lo tanto el funcionamiento del equipo.

Además permite diagnosticar la naturaleza del problema con la máquina en funcionamiento, estudios recientes han demostrado que

cuando se realizan actividades de mantenimiento puntuales y programadas, los costos disminuyen hasta en un 50%, costos asociados a recursos y a tiempo de producción.

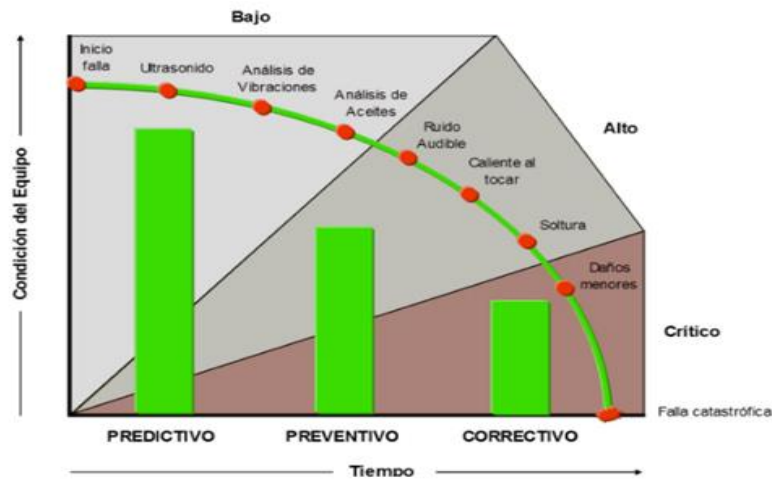


Figura 6. Programas de mantenimiento.
Fuente: (Rodríguez, 2002).

El Mantenimiento Basado en Condición (CBM) es lo complejo de las tecnologías aplicadas y lo especializado que puede resultar de los procedimientos, la filosofía es sencilla: La mayoría de fallas no se presentan de manera brusca, en general las fallas son el resultado de un periodo de desgaste progresivo, este proceso de desgaste es cuantificable, aplicado de manera sistemática puede proporcionar beneficios que impactan la confiabilidad, seguridad y productividad de un complejo industrial en un corto plazo haciendo que:

Reduzca: Costos de Mantenimiento, fallas inesperadas y recurrentes, mantenimiento de emergencia. (Rodríguez, 2002).

Incrementa: Tiempo promedio entre fallas, continuidad operacional, confiabilidad, seguridad, productividad.

Un Programa de Mantenimiento Basado en Condición (CBM) aplicado de manera sistemática considera los siguientes pasos para Implementar un Programa de MBC. (Ver Tabla 7):

TABLA 7. PASOS PARA IMPLEMENTAR UN PROGRAMA DE MBC

Pasos para Implementar un Programa de MBC	
Primero: Identificar los Activos a Incluir en el Programa	Se trata de listar la maquinaria que será monitoreada, esta selección principalmente se basa en la criticidad de los equipos. (Rivas, 2003).
Segundo: Determinar el Modo y Efecto de Falla de los Equipos Seleccionados	Se debe conocer cuáles son los mecanismos que pueden desencadenar en una falla y las consecuencias de esto. (Rivas, 2003).
Tercero: Seleccionar la Tecnología Predictiva	Arsenal de tecnologías que permiten captar el “lenguaje” de la maquinaria, el cómo la máquina expresa su salud a través de diversos parámetros, esta es la clave para seleccionar la tecnología adecuada. (Rivas, 2003).
Cuarto: Parámetros de Inspección, Estándares y Frecuencia de Inspección	Se tiene que medir y contra qué compararlo, cada aplicación predictiva cuenta con diferentes parámetros de inspección que identifiquen un modo de falla característico. (Rivas, 2003).
Quinto: Definir Indicadores de Gestión y Comunicar los Logros	Un paso importante del MBC es reportar los éxitos, el proceso de comunicación es un factor determinante en la efectividad y credibilidad del sistema. (Rivas, 2003).

Fuente: (Rivas, 2003).

2.2.5. Gestión de mantenimiento

La Gestión de Mantenimiento involucra cuatro etapas diferenciadas: Planificación, Programación, Ejecución y Control. Entendiendo por Mantenimiento el servicio a la operación que tiene por objeto lograr una adecuada disponibilidad de los equipos al menor costo posible. Este atiende a dos tipos, según el concepto universal de mantenimiento: El programado, en el cual se prevén las intervenciones, los recursos y los trabajos a ejecutar y el no programado, donde las intervenciones se realizan de emergencia, por lo general ocasionan paradas de las instalaciones y cuenta con cuatro etapas:

TABLA 8. ETAPAS DIFERENCIABLES DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO

N°	ETAPAS	CARACTERISTICAS
1	Planificación	Planificar es el proceso mediante el cual se definen los objetivos a alcanzar en la gestión y se determinan las estrategias de acción a implantar de acuerdo a criterios basados en políticas, prioridades de la corporación y estimación de costos.
2	Programación	El proceso de programar se inicia cuando se asocia a cada acción de mantenimiento una escala de tiempo y de utilización de recursos. El programa establece los tiempos esperados de inicio y terminación de la acción y se formula asignando recursos hasta el límite de disponibilidad de acuerdo a las necesidades de la planificación previa.
3	Ejecución	El concepto de ejecución vincula dos acciones administrativas de singular importancia; la dirección y la coordinación de los esfuerzos del grupo de realizadores de las actividades generadas en los procesos de planificación y programación y que garantizan el logro de los objetivos propuestos.
4	Control	El control es la comprobación de que las personas, instalaciones, sistemas y equipos están actuando u operado sin desviaciones con relación a la norma o parámetro determinado.

Fuente: (Saavedra, 2004).

2.2.5.1. Gestión de mantenimiento mediante el Sistema SAP

Hopp, Werner, Plather, Tshira (1995), consideraron crear un Sistema, Aplicaciones y Productos en Procesamiento de Datos (ERP: Enterprise Resources Planning) en junio 1972 en Alemania, este programa permite a las empresas ejecutar y optimizar distintos aspectos como los sistemas de ventas, finanzas, operaciones bancarias, compras, fabricación, inventarios y relaciones con los clientes. Ofrece la posibilidad de realizar procesos específicos de la empresa o crear módulos independientes para funcionar con otro software de SAP o de otros proveedores. Se puede utilizar en cualquier sector empresarial. Está basado en una plataforma de tecnología integrada de SAP llamada Netweaver, que nos permite tener información en tiempo real y una infraestructura común a lo largo de todo el negocio.

En la actualidad, proporciona soporte para las siguientes áreas empresariales: Aprovechamiento, Desarrollo de productos, Fabricación, Finanzas.

Ventajas

- Ofrece una única visión de toda la información con lo que la toma de decisiones puede hacerse en mejores condiciones y con más seguridad.
- A través de la utilización de procesos globales, las aplicaciones ayudan a potenciar la integridad de los procesos y eficiencia empresarial. Afecta tanto a los procesos internos como externos.
- Las aplicaciones están orientadas a servicios, por lo que se puede innovar y añadir funciones al sistema cuando se desee, sin que ello repercuta en el desarrollo normal de la empresa.

2.2.6. Lean Belt – Herramienta de Gestión de Calidad

Womack (2001). Demostró la aplicación de la herramienta Lean para mejoramiento en los negocio. Lean Manufacturing o simplemente “LEAN” traducido: Manufactura esbelta se refiere a la descripción de una empresa o proceso libre de desperdicios o ineficiencias y que se realiza con el mínimo de recurso necesario. (Vergara, 2013)

Lean es una herramienta de gestión de mejoramiento continuo que disminuye dramáticamente el tiempo entre el momento en el que el cliente realiza una orden hasta que recibe el producto o servicio, mediante la eliminación de desperdicios o actividades que no agregan valor en todas las operaciones. De esta forma, se alcanzan resultados inmediatos en la productividad, competitividad y rentabilidad del negocio. (Vergara, 2013)

A continuación se muestra los pasos y las claves del pensamiento LEAN:



Figura 7: Pasos del pensamiento Lean.
Fuente: Lean Belt – Tantahuatay, 2016.

El desarrollo de la herramienta Lean se basa en la metodología FOCUS que nos permitirá desarrollar la oportunidad de optimizar el proceso de mantenimiento en minera Tantahuatay - Cajamarca, 2016.

- **Enfocar** : FOCUS
- **Operar** : OPERATE
- **Crear** : CREATE
- **Utilizar** : UTILIZE
- **Sostener** : SUSTAIN

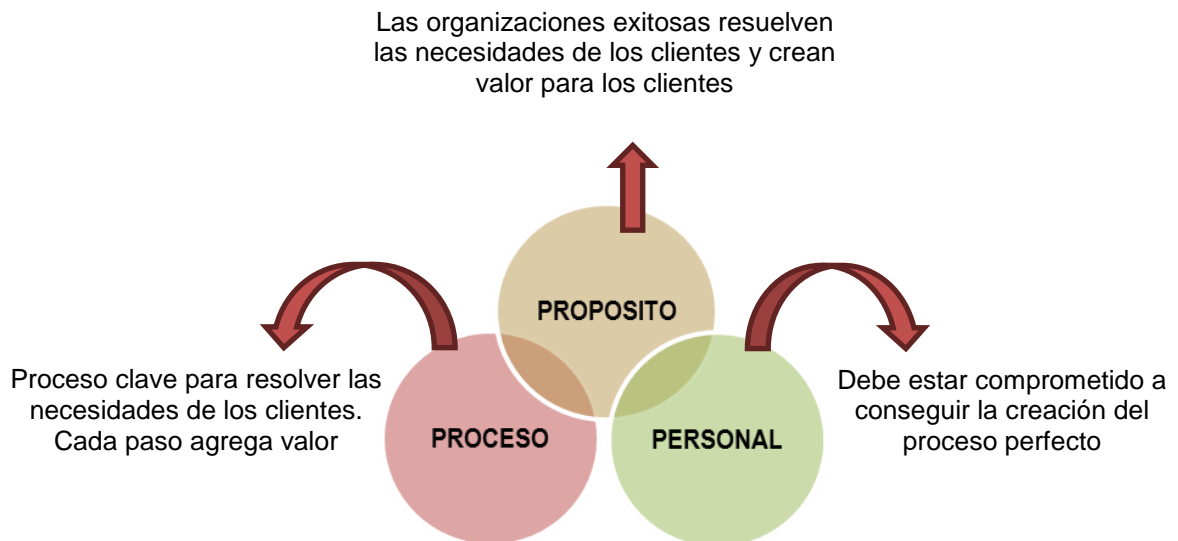


Figura 8: Claves para la filosofía Lean
Fuente: Womack& Jones, 2001.

2.2.7 Técnica 5 “S”

Hirano (2005). Demostró que es una técnica de gestión japonesa basada en cinco principios simples, denominado por la primera letra del nombre que en japonés designa cada uno de sus cinco etapas: Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke.

Se inició en Toyota en los años 1960 con el propósito de organizar las actividades de una empresa a fin de mejorar la productividad, reducir el desperdicio y crear ahorros en costos:

- a. **Seiri (Clasificar)**; clasifique claramente lo que es necesario e innecesario, es función de cada persona.
- b. **Seiton (Ordenar)**; mantener las cosas correctas, en el lugar correcto y con el volumen correcto, función de cada persona.
- c. **Seiso (Limpiar)**; limpiar diariamente, función de cada persona.
- d. **Seiketsu (Estandarizar)**; desarrollar y mantener los estándares de limpieza, función de la gerencia.
- e. **Shitsuke (Sostener)**; disciplina mediante revisiones diarias y capacitaciones de los empleados, función de la gerencia.

2.2.7.1. Pautas de las 5 S

- Tome foto de la situación actual. Úselas para comparar una vez que las 5S estén implementadas.
- Elimine los elementos innecesarios del lugar de trabajo. Use la estrategia de la "etiqueta roja".
- Cree programas de limpieza diarios, semanales y mensuales.
- Siga las planillas de control y audite su cumplimiento mediante recorridos de inspección.

- Use gráficos radar para establecer una línea de base y medir las mejoras.
- Busque formas de mejorar su sistema actual de las 5S - Kaizen.
- Recompense a los participantes que obtengan buenos resultados.
- Desafíelos para que mejoren aún más.
- Haga de las 5S un hábito: refuércelas a diario.
- Disciplina y capacitación en 5S: conviértalas en una forma de vida.
- Cree y comunique eslóganes sobre las 5S para recordar y alentar la participación de todos.
- Diviértase practicando las 5S.

2.2.8 Árbol Lógico de Falla (Análisis Causa Raíz)

Es un proceso deducible utilizado para determinar las varias combinaciones de fallas de equipo y errores humanos que pueden causar eventos indeseables (referidos como eventos altos) al nivel del sistema. EL análisis Árbol de Falla (FTA Fault Tree Analysis) fue introducido por primera vez por Bell Laboratories y es uno de los métodos más ampliamente usados en sistemas de relatividad, mantenimiento y análisis de seguridad. (Juárez, 2001)

El análisis deducible empieza con una conclusión general, luego intenta determinar las causas específicas de la conclusión construyendo un diagrama lógico llamado un árbol de falla. Esto también es llamado tomar una propuesta de arriba a abajo.

El motivo principal del análisis árbol de falla es el ayudar a identificar causas potenciales de falla de sistemas antes de que las fallas ocurran. También puede ser utilizado para evaluar la probabilidad del evento más alto utilizando métodos analíticos o estadísticos. Estos cálculos envuelven sistemas de relatividad cuantitativos e información de mantenimiento tal como probabilidad de falla, tarifa

de falla, y tarifa de reparación. Después de terminar un FTA, puede enfocar sus esfuerzos en mejorar su proceso.

Construcción del Árbol de Falla

- 1º. Defina la condición del evento y escriba el evento más alto.
- 2º. Utilizando información técnica y juicios profesionales, determine los modos y/o posibles razones por la que la falla ocurrió. Recuerde, estos son elementos de nivel segundo porque se encuentran debajo del nivel más alto en el árbol.
- 3º. Se detalló cada elemento con puertas adicionales a niveles más bajos se deberá verificar cada hipótesis con el objetivo de ver cuáles de estas hipótesis son verdaderas y cuáles son falsas (lo que no ha pasado).
- 4º. Teniendo ya determinado las fallas humanas y la causa raíz, hemos culminado con la justificación técnica y ahora se podrá emitir las soluciones para eliminar todos los caminos lógicos para ser evaluado de forma económica.

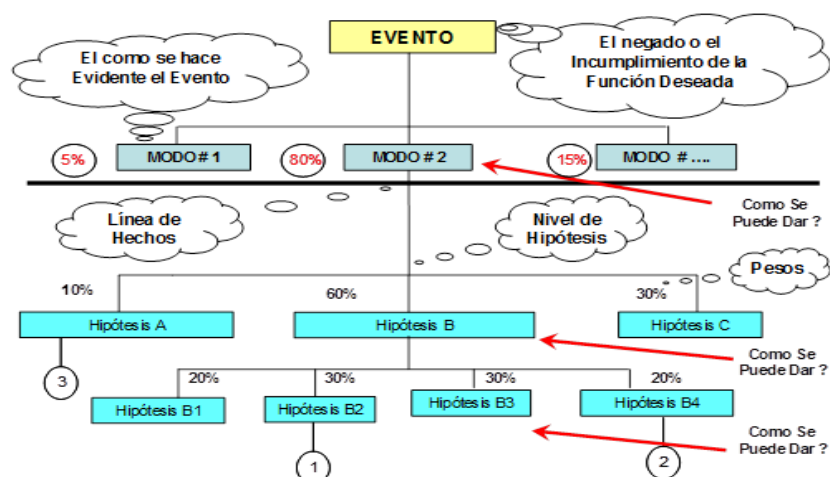


Figura 9: Modelo de construcción del Árbol de Falla
Fuente: (Juárez, 2001)

La idea es eliminar cada una de las ramas pero muchas veces no existe la capacidad presupuestaria para eliminarlas o existe una limitación de diseño y también hay grandes compromisos que no se están considerados, por eso se mostrará una matriz de acciones correctivas con sus costos asociado, tiempo de ejecución, responsable y demostrar el beneficio de cada acción.

2.2.9. Gestión de mantenimiento de los equipos

a. Tractores Oruga Caterpillar®

Los Tractores Caterpillar® son equipo auxiliares usados básicamente para trabajar en el piso de las palas para acumular el material chorreado de éstas al cargar, adicionalmente es una herramienta muy útil en el mantenimiento de las vías en condiciones operativas. (Caterpillar®, 2014)

Modelo D6T-XL

En el Modelo D6T-XL presenta la capacidad de la hoja determinadas por la norma SAE J1265. Tenga en cuenta que la capacidad de la hoja Universal es el volumen transportado por una hoja recta de las mismas dimensiones más el volumen incluido en la 'copa' de la hoja Universal.

Características del D6T XL

Versatilidad: La Hoja de Empuje Cat D6T XL está a la vanguardia en lo que a versatilidad respecta. Elija entre las configuraciones XW, XL o LGP y equipe la máquina con una amplia gama de hojas, trenes de rodaje, cadenas, así como una serie de implementos traseros opcionales.

Funcionamiento sencillo: El modelo D6T XL proporciona una cabina de puertas de cierre suave y un asiento con opción de calefacción/ventilación. Características como la transmisión automática mejorada, el control de hoja estable y los mapas del sistema electrohidráulico seleccionables ayudan a mejorar la eficiencia y productividad en general. (Caterpillar, 2014)

Tecnologías integradas: El sistema Cat Connect garantiza el uso inteligente de la tecnología y servicios como Cat Accu Grade™ para que pueda controlar, gestionar y mejorar las operaciones en el lugar de trabajo. (Caterpillar, 2014)

Eficacia: Mejora del ahorro de combustible con respecto a tierra y un uso eficiente del fluido de escape diésel que proporciona un nivel de eficiencia en el consumo de fluidos. (CaterpillarD, 2014)



Figura 10: Tractor D6T-XL.
Fuente: (Elaboración Propia 2016).

Modelo D8T-XL

El Tractor de Cadenas Cat D8T posee un largo historial de versatilidad, productividad y valor de reventa únicos en su categoría. Gracias a la calidad excepcional que demuestra en una amplia variedad de tareas de empuje, los clientes se deciden por el D8T para todos los trabajos: desde tareas de empuje, escarificación, trabajos de mototraílla y limpieza de terrenos hasta nivelación de acabado difícil. Los Tractores de Cadenas D8T actuales no solo incluyen características diseñadas para una mayor comodidad, productividad y eficiencia del combustible, sino que ofrecen muchas más funciones para ayudarle a alcanzar sus objetivos empresariales.

Características del D8T

Productividad potente: Los controles electrohidráulicos estándar permiten una precisión y respuesta mejoradas. Los sistemas hidráulicos y de control de la máquina dedicados favorecen la productividad total. Otras características como la transmisión automática mejorada y el ventilador hidráulico de actuación proporcional a la demanda ayudan a reducir el uso total de combustible y los costos de operación.

Tecnologías integradas: El sistema Cat Connect garantiza el uso inteligente de la tecnología y servicios como el control de nivelación 3DCat, Accu Grade™ y Product Link™/VisionLink® que permiten controlar, gestionar y mejorar las operaciones en el lugar de trabajo. (Caterpillar, 2014)

La cabina del D8T: Se ha diseñado y equipado pensando en la productividad, seguridad y comodidad del operador. Las amplias ventanillas de las puertas, la inclinación del capó del motor y la forma del depósito de combustible proporcionan una excelente

visibilidad de todos los lados de la máquina y del lugar de trabajo.

La cabina dispone de una preinstalación de radio e incluye una toma de entrada para un reproductor de música personal. Un convertidor de corriente suministra energía adicional para teléfonos móviles y ordenadores. Los nuevos acabados facilitan la limpieza de la cabina. (Caterpillar, 2013)

El Tractor de Cadenas D8T incorpora una pantalla integrada actualizada con nuevas funciones. El sistema de control Advisor actualizado realiza un seguimiento de las condiciones de funcionamiento de la máquina en tiempo real. Gracias a un soporte para la pantalla del sistema de control de nivelación integrado, el operador puede consultar los datos del lugar de trabajo de forma cómoda.

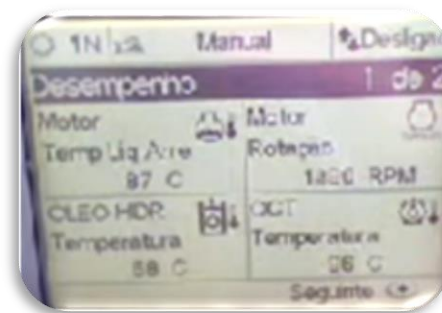


Figura 11. Cronómetro de parada de funcionamiento en vacío del motor.
Fuente: Caterpillar, 2014.

Sistema de reducción de NOxCat: El sistema de reducción de NOxCat captura y refrigera una pequeña cantidad de gases de escape, luego los envía a la cámara de combustión donde reduce las temperaturas de combustión y las emisiones de NOx.

Tecnologías de pos tratamiento: Los componentes de pos procesamiento Cat se han diseñado para ajustarse a las necesidades de aplicación. Entre los componentes del sistema se incluyen un catalizador de oxidación diésel, que utiliza un proceso químico para convertir las emisiones reguladas en el

sistema de escape, y un filtro de partículas diésel que atrapa las partículas del caudal de escape. (Caterpillar, 2013)

Sistema de regeneración Cat: El sistema de regeneración Cat se ha diseñado para trabajar con transparencia, sin que sea necesaria la interacción del operador. En la mayoría de las condiciones de funcionamiento, el escape del motor está lo suficientemente caliente como para oxidar el hollín a través de una regeneración pasiva, el sistema de regeneración Cat aumenta las temperaturas del gas de escape para quemar el hollín en el filtro de partículas diésel (DPF).

Cronómetro de parada de funcionamiento en vacío del motor: Este temporizador emitirá un sonido de advertencia y apagará el motor una vez que la máquina haya permanecido funcionando en vacío durante el periodo de tiempo preestablecido. (Caterpillar, 2013)



Figura 12. Tractores D8T

Fuente: Caterpillar® 2013.

2.3. Definición de términos básicos

ACERT: Tecnología desarrollada por Caterpillar Co. para reducir los gases contaminantes que se generan durante el proceso de combustión interna del motor diesel.

CAT®: Abreviatura comercial de la compañía Caterpillar Co. Que tiene como sede principal Morton, Illinois en Estados Unidos de Norteamérica que se dedica a la fabricación y desarrollo de maquinaria pesada para todo tipo de industria.

Backlog: Conjunto de repuestos solicitados con anticipación a la parada programada de un equipo, el backlog se completa cuando todos los repuestos requeridos están confirmados en físico en el almacén del lugar de trabajo.

Benchmarking: Método estructurado para identificar un proceso de clase mundial, para entonces compartir información relevante y aplicarla dentro de la organización para mejorar los procesos que sean similares.

Confiabilidad: Es la probabilidad de que un equipo cumpla una función específica bajo condiciones de uso determinadas en un período determinado. El estudio de confiabilidad es el estudio de fallos de un equipo o componente.

Costos de Mantenimiento: Es el precio pagado por concepto de las acciones realizadas para conservar o restaurar un bien o un producto a un estado específico.

Defecto: Ocurrencia en maquinaria o equipos que no impide su funcionamiento.

Desperdicio: Es todo aquello que no agrega valor, y por lo cual el cliente no está dispuesto a pagar. Los siete tipos de desperdicios son: sobreproducción, espera, transporte, sobre procesamiento o

procesamiento incorrecto, inventario, movimiento, productos defectuosos o retrabajos.

Dispatch: Sistema de reportes del estado de todos los equipos de un área de trabajo.

Disponibilidad: Disponibilidad es el porcentaje de tiempo analizado en el cual el equipo está disponible para producir.

Efectos de fallos: Es la magnitud del efecto y proporciona la importancia de cada fallo, y por tanto qué nivel de mantenimiento preventivo (si lo hubiera) sería necesario.

Falla o Avería: Ocurrencia en maquinaria o equipos que impide su funcionamiento.

Ishikawa: Técnica Japonesa conocida también como “Espina de pescado” debido a la forma de la organización de los principales problemas para encontrar una solución.

Lean Manufacturing: Traducido al español “Manufactura Ajustada”, es una filosofía de gestión enfocada a la reducción de los siete tipos de “desperdicios” en productos manufacturados.

Fallos normales: Etapa con una tasa de errores menor y constante. Los fallos no se producen debido a causas inherentes al equipo, sino por causas aleatorias externas. Estas causas pueden ser accidentes fortuitos, mala operación, condiciones inadecuadas u otros.

Fallos por desgastes: Etapa caracterizada por una tasa de errores rápidamente creciente. Los fallos se producen por desgaste natural del equipo debido al transcurso del tiempo.

Frecuencia: Circunstancia de repetir algo muchas veces o en intervalos de tiempo.

Horas Calendario: Corresponden a las horas que un equipo está presto a cumplir la función para la cual fue diseñado, durante un tiempo determinado por la organización de mantenimiento.

Horas de demora: Son las horas en que el equipo o sistema no produce por causas imprevistas, las cuales pueden ser de tipo operacional, de mantenimiento o demoras externas.

Horas de parada programada: Son las horas en que el equipo o sistema se encuentra paralizado por ejecución de actividades incluidas en los programas de mantenimiento.

Horas disponibles: Son las horas en que el equipo o sistema se encuentra disponible para operar y para ejecutar reparaciones de fallas imprevistas, sean estas de mantenimiento, de operación o externas.

Horas efectivas: Comprenden las horas en que el equipo o sistema está apto para operar.

Kaizen: De la palabra japonesa “cambio para mejorar” ó “mejoramiento”, es la filosofía de gestión enfocada al mejoramiento continuo.

Lubricante: Son una sustancia sólida, semisólida o líquida de origen animal, vegetal, mineral o sintético que pueda utilizarse para reducir el rozamiento entre piezas y mecanismos en movimiento.

Mantenibilidad: Está definida como la probabilidad de devolver el equipo a condiciones operativas en un cierto tiempo utilizando procedimientos prescritos, es una función del diseño del equipo (factores tales como accesibilidad, modularidad, estandarización y facilidades de diagnóstico, facilitan enormemente el mantenimiento).

Mantenimiento Correctivo: Aquel que se realiza después de que se produzca una falla o detención en un equipo, también se denomina por algunos autores: mantenimiento reactivo.

Mantenimiento: Acciones necesarias para conservar un activo físico de modo que permanezca en una condición prevista.

Mantenimiento programado: Las acciones llevadas a cabo mediante esta estrategia se realizan a intervalos regulares de tiempo o cuando los equipos se sacan de operación. Este tipo de actividad requiere sacar de funcionamiento el equipo y solo puede ser bien planificada cuando la falla es dependiente del tiempo de operación. Eso no es lo común en nuestras plantas de tratamiento. Las actividades que son siempre factibles de programar son la lubricación y la limpieza. Para llevarlas a cabo, los fabricantes de los equipos indican la frecuencia con que se requieren. Con esta información se puede establecer la programación correspondiente.

Mantenimiento predictivo: El mantenimiento predictivo no es dependiente de la característica de la falla y es el más efectivo cuando el modo de falla es detectable por monitoreo de las condiciones de operación. Se lleva a cabo en forma calendaria y no implica poner fuera de operación los equipos.

Mantenimiento de oportunidad: Esta es una manera efectiva de dar mantenimiento. Se hace uso de los tiempos de parada de los equipos por otras estrategias empleadas o por paradas en la operación de la planta.

Maquinaria pesada: Equipos de revestimiento robusto diseñados para aplicaciones de construcción, acarreo, carguío, transporte, minería y perforación, que pueden soportar sin sufrir daños agentes abrasivos del medio ambiente o del propio trabajo.

Mejora: Los servicios de larga duración permiten conocer la signatura de los equipos objeto del predictivo, cuyo análisis debe estar en función de optimizaciones tanto en los planes, configuración de parámetros, integración de nuevas tecnologías y sistemas.

Modos de fallos: Es la posibilidad de causar la pérdida de una función. Esto nos permite comprender exactamente identificar cuál es la causa origen de cada fallo.

Monitoreo de condiciones. Conjunto de técnicas de inspección que se utilizan para conocer las condiciones de operación de equipos y tomar las acciones preventivas o correctivas necesarias.

Prevenir o disminuir el riesgo de fallas: Busca bajar la frecuencia de fallas y/o disminuir sus consecuencias (incluyendo todas sus posibilidades). Esta es una de las visiones más básicas del mantenimiento y en muchas ocasiones es el único motor que mueve las estrategias de mantenimiento de algunas empresas.

Recuperar el desempeño: Con el uso de los equipos el desempeño se puede ver deteriorado por dos factores principales: Pérdida de capacidad de producción y/o aumento de costos de operación. Grandes ahorros se han logrado al usar éste como gatillo para el mantenimiento, ya que a veces este factor es de dimensiones mayores a las fallas a evitar, ejemplos típicos incluyen: Cambios de filtros de gas, aceite, lavado de compresores axiales, etc.

Técnicas de monitoreo de condiciones: La facilidad de hacer mediciones es el principal criterio que influencia la selección de la técnica para el monitoreo de condiciones. Las técnicas de medición que requieren detener la máquina para efectuar las mediciones se llaman métodos invasivos (off load) y aquellos métodos que no requieren la parada de la máquina se llaman no invasivos (on load).

TPM: De la palabra inglesa “Total Productive Maintenance” o “Mantenimiento Productivo Total” es una filosofía originaria de Japón, el cual se enfoca en la eliminación de pérdidas asociadas con paros, calidad y costes en los procesos de producción industrial.

Valor: El punto crítico de inicio para el pensamiento esbelto es el valor. El valor lo puede definir solamente el consumidor final. El valor lo crea el fabricante.

Vida útil: Es la duración estimada que un objeto puede tener, cumpliendo correctamente con la función para el cual ha sido creado, se calcula en horas de duración.

CAPÍTULO III: PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

3.1. Resultados del trabajo de investigación

La presente tesis profesional, se ejecutó en el departamento de Cajamarca en el Área de Operaciones de Carguío y Acarreo de la Compañía Minera Coimolache S.A. Proyecto Tantahuatay – Cajamarca, con la finalidad de mejorar el mantenimiento predictivo utilizando la Metodología Lean Belt en la flota de Tractores Oruga Caterpillar® de la Empresa Ferreyros S.A. Desde el 01 de junio de 2016 al 01 de noviembre de 2016.

La presente tesis profesional utilizó la metodología Lean Belt, que determinó una estrategia óptima de mantenimiento utilizó la implantación de mejora gracias a herramienta de las 5”S”, disminuyó los tiempos a través del diagrama de Ishikawa, para el uso de tecnologías predictivas se realizó el análisis de vibraciones, análisis de lubricantes y termografía, que identificaron y controlaron las causas de falla de la maquinaria.

3.1.1. A continuación se presenta la muestra del presente trabajo de investigación:

La investigación se aplicó a 08 tractores Caterpillar® de diferentes series del Área de Operación de Carguío y Acarreo del Proyecto Tantahuatay.

TABLA 9. MUESTRA DE TRACTORES PROYECTO TANTAHUATAY

TRACTORES CATERPILAR PROYECTO TANTAHUATAY			
COD. INTERNO	MODELO	UNIDAD	MARCA
T-196-AL	D6T XL	HM	CAT
T-276-AL	D6T XL	HM	
T-203-AL	D6T XL	HM	
T-183-AL	D6T XL	HM	
T-165-AL	D6TXL	HM	
T-235-AL	D6TXL	HM	
T-182-AL	D8T	HM	
T-280-AL	D8T	HM	

Fuente: Dispatch Control de Operaciones Proyecto Tantahuatay 2016.

3.1.2. Técnicas y procedimientos

En este capítulo se especifica la Metodología “Lean Belt”, teniendo como principio fundamental la detección de pérdidas y su posterior eliminación o reducción, entendiendo como “pérdida” todo aquello que no incrementa valor al producto final que el cliente percibe.

Al aplicar la metodología “Lean Belt” para mejorar el mantenimiento predictivo en el Área de Operación de Carguío y Acarreo del Proyecto Tantahuatay se realizó cinco etapas principales las cuales a su vez se desglosó en diferentes pasos y herramientas tal como se muestra a continuación:

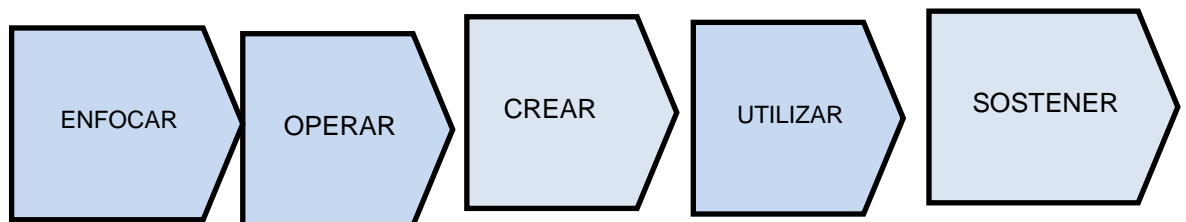


Figura 13: Metodología FOCUS
Fuente: (ASME, 2003).

A. Procedimientos para recolectar datos

La metodología Lean Belt se usa en diferentes herramientas y técnicas para reducir el desperdicio y racionalizar los procesos en el ambiente, este enfoque permitió mejoras eficientes y eficaces del proceso de negocios por lo que se detalla a continuación el procedimiento a seguir en las siguientes fases (Ver Tabla 10):

TABLA 10. CUADRO DE LA METODOLOGÍA LEAN BELT

Fases	Descripción
Fase 1: Enfocar	Se definió la necesidad del Proyecto Tantahuatay identificando el área a mejorar, se identificó oportunidades de mejora con respecto al proceso de mantenimiento predictivo de la flota de Tractores Oruga Caterpillar® para lograr los objetivos trazados una vez de implementados las mejoras (Ver Figura 35).
Fase 2: Operar	Se levantó información relacionado a los trabajos operativos para diagnosticar los problemas antes de sugerir las soluciones, creando el “diagrama de Ishikawa”, (Ver Figura 16). Para comprender la situación actual y lograr ganancias rápidas.
Fase 3: Crear	Implementar herramienta básica de 5S y análisis de causa raíz (Se validó las hipótesis) para identificar oportunidades de mejora. Se elaboró un Plan de implementación de las 5 “S” conformado por 4 etapas clasificar, ordenar, Estandarizar, Disciplina). Árbol lógico posible causas que involucre a las paradas no programadas y la Matriz de acción para eliminar las Causas Raíces que permiten las fallas humanas.
Fase 4: Utilizar	Implementar el nuevo proceso de mantenimiento predictivo, considerando la propuesta de mejoras. (Ver Figura 26)
Fase 5: Sostener	Se desarrolló un Plan de implementación y los costos asociados para implementar la solución y nuevos controles visuales en las 5S del proceso que nos brinde un cuadro visual del proceso a través de diagramas de datos y gráficos económicos. Se volvió sostenible comprometiendo a todo el personal involucrado en el proceso así como el respaldo de la gerencia en la gestión del desempeño.

Fuente: Elaboración propia, 2016.

B. Observaciones del trabajo de investigación

Permitió identificar las fallas críticas de la flota de Tractores Oruga Caterpillar® originadas por el mantenimiento predictivo, en el Área de Operación de Carguío y Acarreo del Proyecto Tantahuatay – Cajamarca.

Observación directa:

- Se participó en la revisión de los trabajos asignados al tema como: Formatos del personal, relevos para registrar las reparaciones en progreso de los equipos en el taller.

Análisis de la información

Se recopiló reportes e informes técnicos de fallas con relación al sistema predictivo de la flota de Tractores Caterpillar®, del Área de Operación de Carguío y Acarreo del Proyecto Tantahuatay – Cajamarca, clasificándolos de la siguiente manera:

- Se registró los reportes de paradas de la flota de Tractores de Oruga Caterpillar® del Sistema Dispatch desde el 01 de junio al 01 de noviembre de 2016.
- Se utilizó la herramienta Excel para la recolección de datos y gráfico de tablas que ilustren la tendencia del trabajo de investigación.

TABLA 11. EVENTOS NO PROGRAMADOS POR SISTEMA PREDICTIVO

Tractores Oruga Caterpillar®	Sistema de mantenimiento predictivo (PC)		
	Equipos Proyecto Tantahuatay		
	MESES	Nº correctivos (Eventos)	Duración de correctivos (Horas)
	01/06/2016	45	215.25
	01/07/2016	67	130.55
	01/08/2016	45	134.5
	01/09/2016	63	116.5
	01/10/2016	98	278.34
	01/11/2016	40	132.2
	TOTAL	358	1007.34

Fuente: Planeamiento y Estrategia - Proyecto Tantahuatay, 2016.

En la Tabla 11, se aprecia los eventos no programados por mantenimiento predictivo de la flota de 08 Tractores Oruga Caterpillar®, del Área de Operación de Carguío y Acarreo del Proyecto Tantahuatay, así como también el tiempo correctivo en horas. Observándose que el total de eventos correctivos durante el periodo de estudios es de 358 eventos con un total de 1007.34 horas.

Disponibilidad de los equipos

Para encontrar la disponibilidad de los equipos se encontró el número de fallas de las horas de parada por eventos no programados, con un total de 358 eventos correctivos. A continuación se muestra la disponibilidad actual de la flota de Tractores Oruga Caterpillar® del Área de Operación de Carguío y Acarreo del Proyecto Tantahuatay:

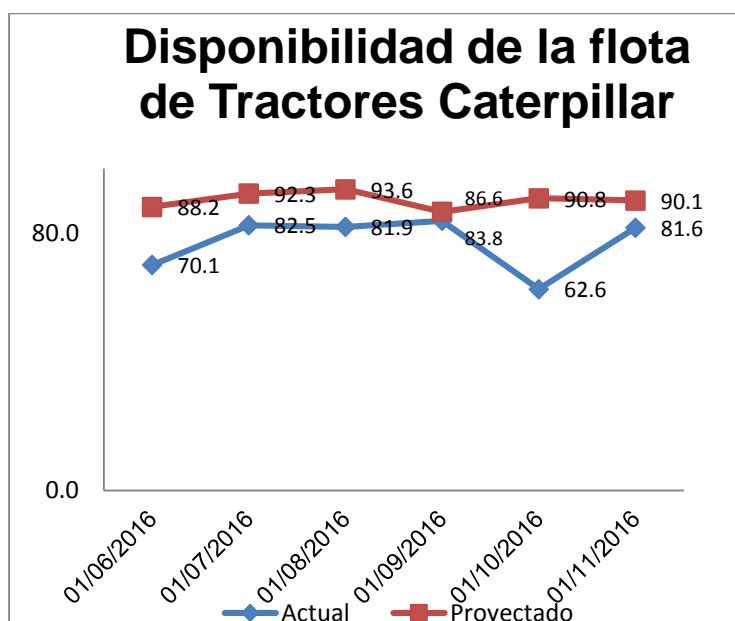


Figura 14. Disponibilidad de los equipos en estudio
Fuente: Área de Estadística del Proyecto Tantahuatay 2016.

En la Figura 14, se manifiesta el porcentaje de la disponibilidad de la flota de los 08 Tractores Oruga Caterpillar®, del Proyecto Tantahuatay, se aprecia que la disponibilidad actual es menor que la disponibilidad Proyectada, por lo que se considera que los equipos muestran un índice alto de fallas, que repercutirá en la economía de la empresa y por ende en la baja producción.

La disponibilidad se ve afectada por paradas no programadas por diferentes tipos fallas que han producido menor disponibilidad en la flota de los 08 Tractores Oruga Caterpillar® del Proyecto Tantahuatay, teniendo en cuenta un análisis de tendencias en el monitoreo de rodamientos por medio de vibración, ruidos ultrasónicos y temperatura.

3.1.3. Propuesta de mejora del proceso de mantenimiento

Alcanzando a la variable dependiente la aplicación de técnicas de monitoreo predictivo de la flota de Tractores Oruga Caterpillar®, (Horas de paradas de equipo) por Costo en US\$/HM de un D6T XL (\$54), si el costo de hora por no producir es igual a \$ 54 tenemos:

TABLA 12. HORAS DE PARADA POR COSTO DE LA FLOTA

			US\$HM
MESES	Duración de correctivos (Horas)	Costo por Hora \$/H	54
01/06/2016	215.25	54	11624
01/07/2016	130.55	54	7050
01/08/2016	134.5	54	7263
01/09/2016	116.5	54	6291
01/10/2016	278.34	54	15030
01/11/2016	132.2	54	7139
	1007.34	TOTAL \$	54396

Fuente: Información del área de Planeamiento Mina - 2016.

En Tabla 12, se aprecia que el mes de octubre presenta 278.34 horas de duración de correctivos generando una pérdida económica para la empresa de \$ 15 030 por equipo parado, por causa del sistema predictivo, específico que en el mes octubre a las 14:00 las horas de fallo correspondió porque el equipo paró, por eliminación de fuga de aceite, por válvula de distribución de implementación e inspección y evaluación por enfongamiento por accidente, la reposición del equipo perduró 15 días.

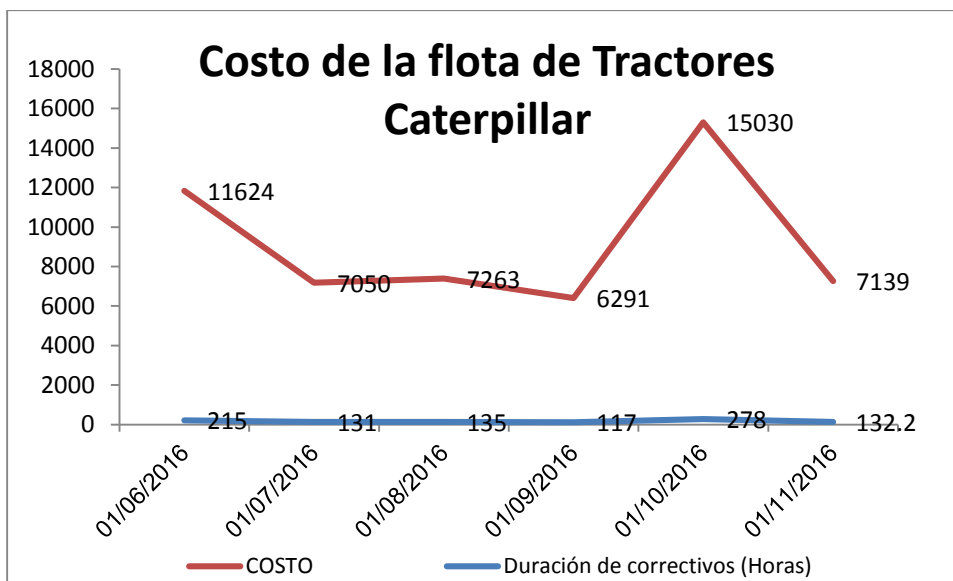


Figura. 15.Costo de la flota de tractores 2016.

Fuente: Planeamiento y Estrategia - Proyecto Tantahuatay, 2016.

En Tabla 15, se aprecia que el mes de octubre presenta el mayor costo de \$ 15 030 dólares por equipo, seguido del mes de junio con \$ 11 624 dólares, principalmente los equipos se detuvieron por cambio de filtro de aire primario, falla en el sistema eléctrico y evaluación de motor por pérdida de fuerza (evento que demoró 32 días), sin tener en cuenta las condiciones climáticas que afecta la zona.

A. Diseño de propuesta plan de mejora

Para la propuesta plan de mejora del presente trabajo de investigación se utilizó el diagrama de Ishikawa como guía de inicio para realizar actividades de mantenimiento predictivo en la flota de Tractores Oruga Caterpillar®, de la siguiente manera:

a. Diagrama de Ishikawa:

Se utilizó para de mejora con respecto al proceso de mantenimiento predictivo de la flota de Tractores Oruga Caterpillar® y encontrar diversas fallas en las diferentes áreas de operación del Proyecto Tantahuatay:

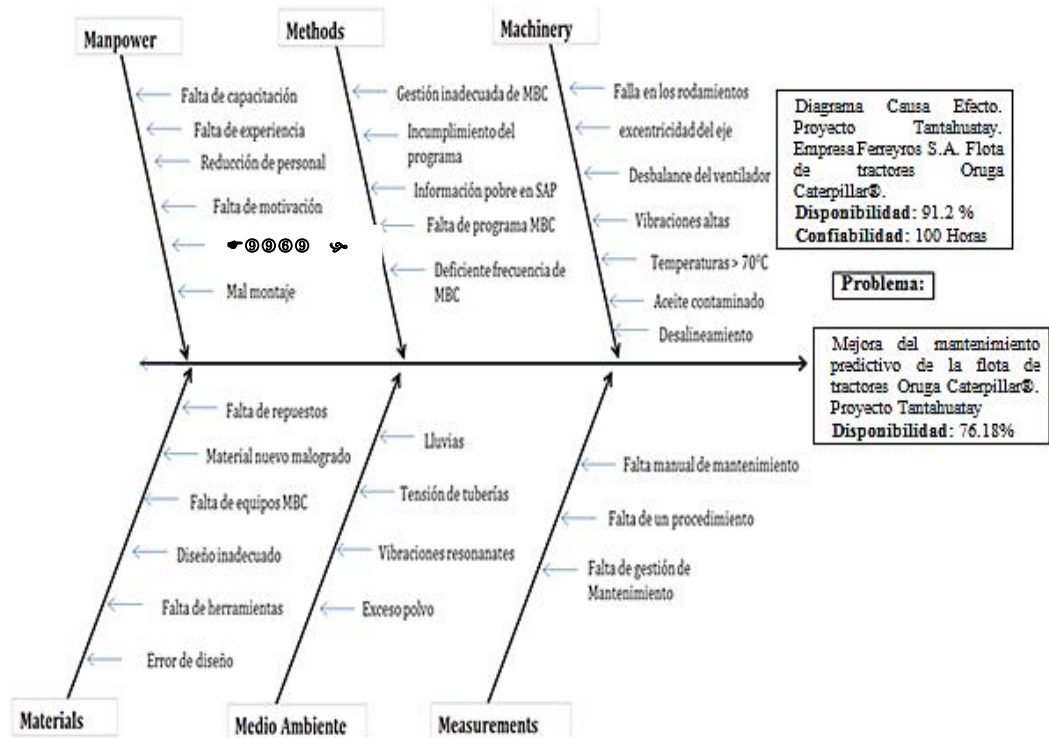


Figura 16: Diagrama de Ishikawa del proceso del sistema predictivo.

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Se realizó el diagrama de Ishikawa con el apoyo de los supervisores y técnicos de operaciones para determinar la causa de la baja disponibilidad de la flota de Tractores Oruga Caterpillar® del

Proyecto Tantahuatay, encontrándose una disponibilidad de 76.18% como se muestra a continuación:

TABLA 13: PORCENTAJE DE DISPONIBILIDAD ANTES

MESES	DIAS	HORAS	TOTAL HORAS	H/PARADAS	% PARADAS	% DISPONIBILIDAD ANTES
01/06/2016	30	24	720	215.25	29.90	70.10
01/07/2016	31	24	744	130.55	17.55	82.45
01/08/2016	31	24	744	134.5	18.08	81.92
01/09/2016	30	24	720	116.5	16.18	83.82
01/10/2016	31	24	744	278.34	37.41	62.59
01/11/2016	30	24	720	132.2	18.36	81.64
				1007.34		76.18

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Siendo la disponibilidad trazada por el Benchmark de la empresa Ferreyros S.A. para el año 2016, para Tractores Oruga Caterpillar® de 91.2%, con una confiabilidad de la meta trazada de 100 horas.

Al analizar el diagrama de Ishikawa se encontró que había deficiencias, se analizó los problemas encontrados en los equipos de tractores Oruga Caterpillar® del Proyecto Tantahuatay se analizó las posibles soluciones.

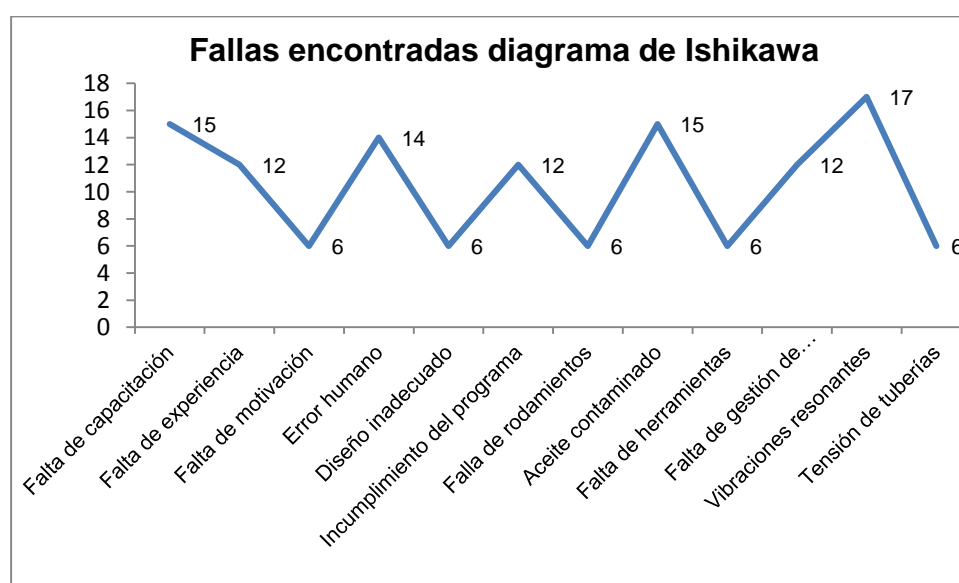


Figura 17. Fallas de la flota de Tractores Oruga Caterpillar®

Fuente: Elaboración propia, 2016.

En la Figura 17. Las Fallas encontradas después de elaborar el diagrama de Ishikawa, en la flota de Tractores Oruga Caterpillar®, se verificó que el mayor incremento de fallas es por vibraciones resonantes con 17 fallas, seguido de aceite contaminado y falta de capacitación con 15 fallas, seguido de 14 fallas por error humano, lo que significa que se necesita urgente un mantenimiento predictivo que mejore la confiabilidad y disponibilidad de los equipos para lograr el Budget programado por la empresa para el años 2016.

TABLA 14. FALLA DE LA FLOTA TRACTORES ORUGA CATERPILLAR® DURANTE EL PERIODO DE ESTUDIO 2016.

Fallas de la flota de Tractores Oruga Caterpillar® Proyecto Tantahuatay 2016							
Deficiencias	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Total
Falta de capacitación	1	2	3	1	2	1	10
Falta de experiencia	2	2	2	2	2	2	12
Falta de motivación	1	1	1	1	1	1	6
Error humano	2	3	3	3	2	1	14
Diseño inadecuado	1	1	1	1	1	1	6
Incumplimiento del programa	2	2	2	2	2	2	12
Falla de rodamientos	1	1	1	1	1	1	6
Aceite contaminado	2	1	3	5	3	1	15
Falta de herramientas	1	1	1	1	1	1	6
Falta de gestión de mantenimiento	2	2	2	2	2	2	12
Vibraciones resonantes	2	3	5	3	1	3	17
Tensión de tuberías	1	1	1	1	1	1	6
Total de Fallas							122

Fuente: Elaboración propia 2016.

En la Tabla 14. Se identificó y controló las causas de falla de la maquinaria, tal como se interpreta en la Figura 17, además, el elaborar el diagrama de Ishikawa sirvió de indicador para anticipar estados de fallas que son aportes invaluables, que generan valores en la identificación de las causas principales de las paradas no programadas en la flota de los Tractores Oruga Caterpillar®, de acuerdo a la Figura 17, de número de fallas, durante el periodo de

estudio, sobresalen las siguientes hipótesis que originan las paradas no programadas de los equipos del Proyecto Tantahuatay que indican el mayor incremento de fallas que se aprecia en la Hipótesis A, como la falla de mayor incidencia en estudio, como se indica en la Figura 18:

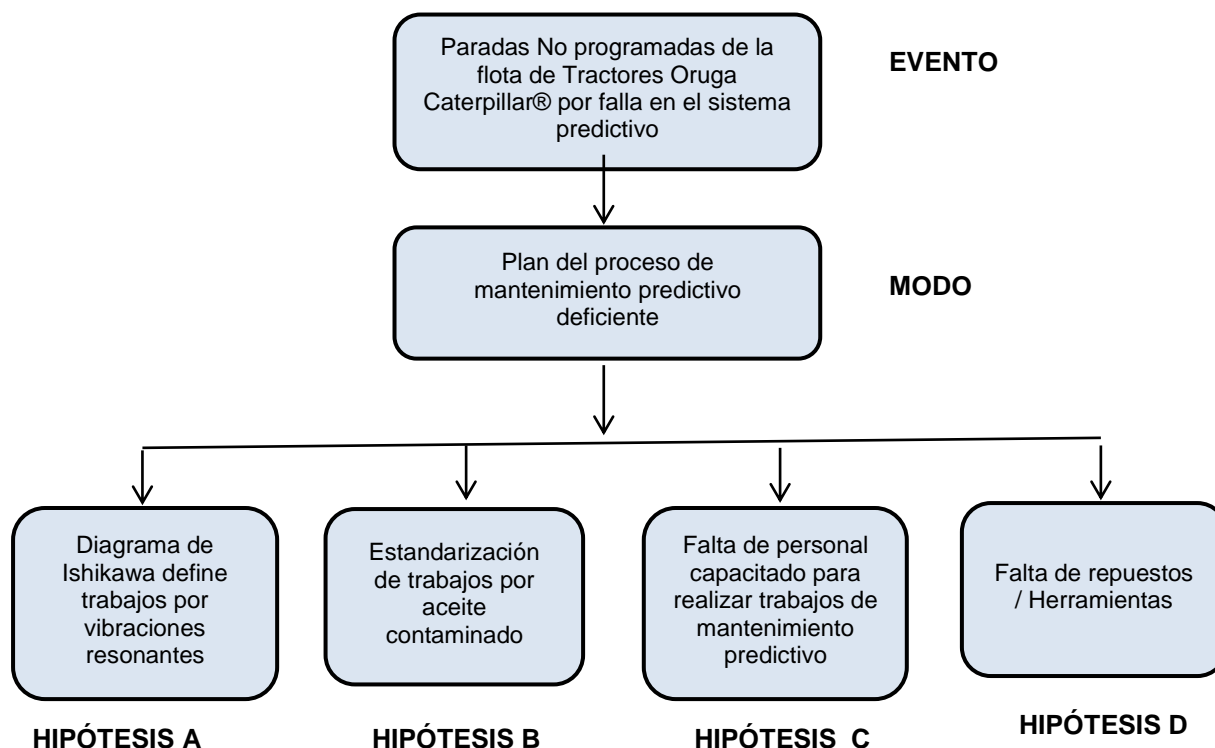


Figura 18: Diagrama causas de paradas no programadas. Sistema predictivo.
Fuente: Elaboración propia, 2016.

b. Tecnologías Predictivas ejecutadas:

Para controlar las 122 fallas encontradas después de aplicar el diagrama de Ishikawa, durante el periodo de estudio, desde el 01 de junio al 01 de noviembre de 2016, se identificó las fallas que dan lugar a diferentes tipos de cambios de la vibración característica de la flota de Tractores Oruga Caterpillar® del Proyecto Tantahuatay, por lo que se aplicó las siguientes tecnologías predictivas:

Para el Análisis de Vibraciones

Para el análisis vibracional, se utilizó el equipo detector de vibraciones de equipos rotativos marca Microlog, analizándose la estabilidad de las vibraciones menores a 11 m/s según un código ISO 10 816- 1995. Lo que permitió mayor disponibilidad de la flota de Tractores Oruga Caterpillar® del Proyecto Tantahuatay.

El presente trabajo de investigación ha enfocado el análisis de datos de vibraciones de la flota de Tractores Oruga Caterpillar® para lograr al correcto funcionamiento de las máquinas por vibraciones teniendo en cuenta la velocidad, el desplazamiento y la aceleración. Regularmente una máquina que funciona correctamente tiene valores que suelen seguir una línea con tendencia ligeramente ascendente o constante cuando funciona con normalidad, los valores de amplitud que se compararon revelaron los siguientes datos:

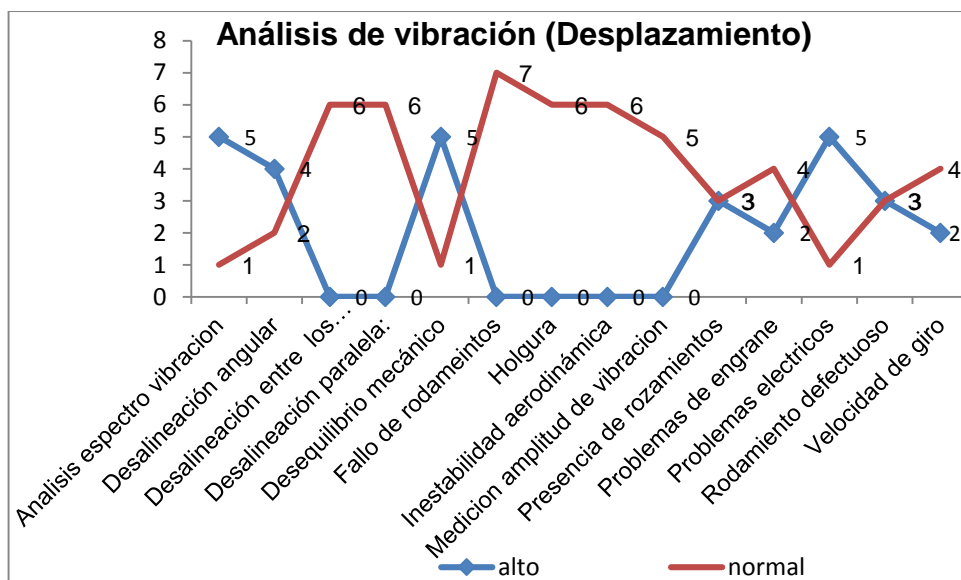


Figura19. Análisis de desplazamiento.
Figura. Estadístico Proyecto Tantahuatay, 2016.

En la Figura 19. De análisis de vibración por desplazamiento, se aprecia que la mayor causa de vibraciones por desplazamiento

es por desalineación paralela y por fallo de rodamientos, durante los 6 meses de análisis de vibración. Lo que infiere en cuanto a la desalineación paralela; que es un problema común debido a la dificultad que supone alinear dos ejes y sus rodamientos de forma que no se originen fuerzas que produzcan vibraciones, lo que originaría fallo por rodamientos que puede dar problemas más graves al equipo, como pueden fallar por errores en el montaje, lubricación inadecuada, defectos internos en la fabricación, corriente eléctrica, desalineación, rodamiento o el equipo no esté preparado para la carga que soporta medir el desplazamiento es lo mejor para máquinas lentas.

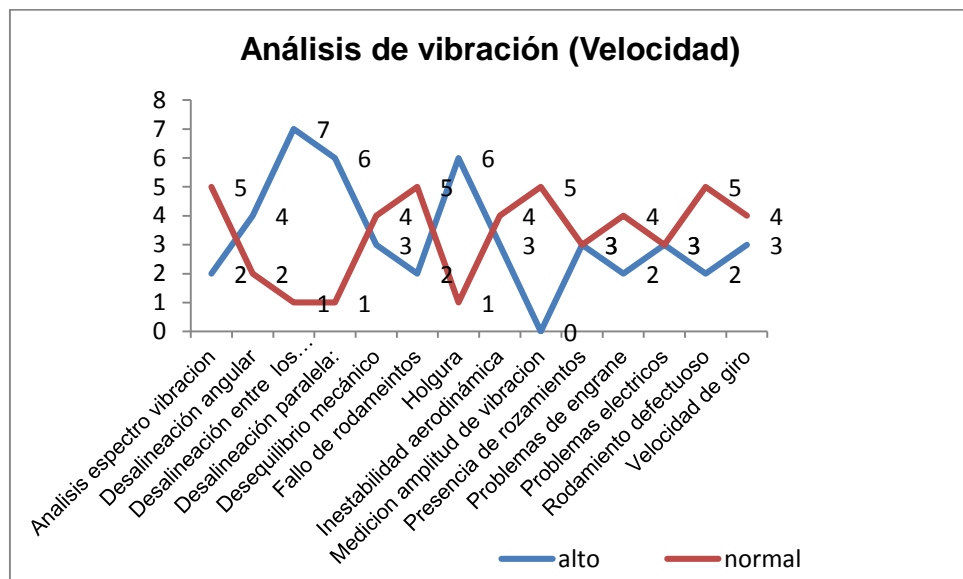


Figura 20. Análisis de velocidad.
Figura. Estadístico Proyecto Tantahuatay, 2016.

En la Figura 20. De análisis de vibración por velocidad, se aprecia que la mayor causa de vibraciones por velocidad es por desalineación angular y paralela durante los 6 meses de análisis de vibración. Lo que infiere que es un problema que puede detectarse con anticipación al encontrar una tendencia de velocidad ascendente de forma imprevista y unos valores del parámetro alto, este tipo de análisis puede generar que la máquina deje de funcionar.

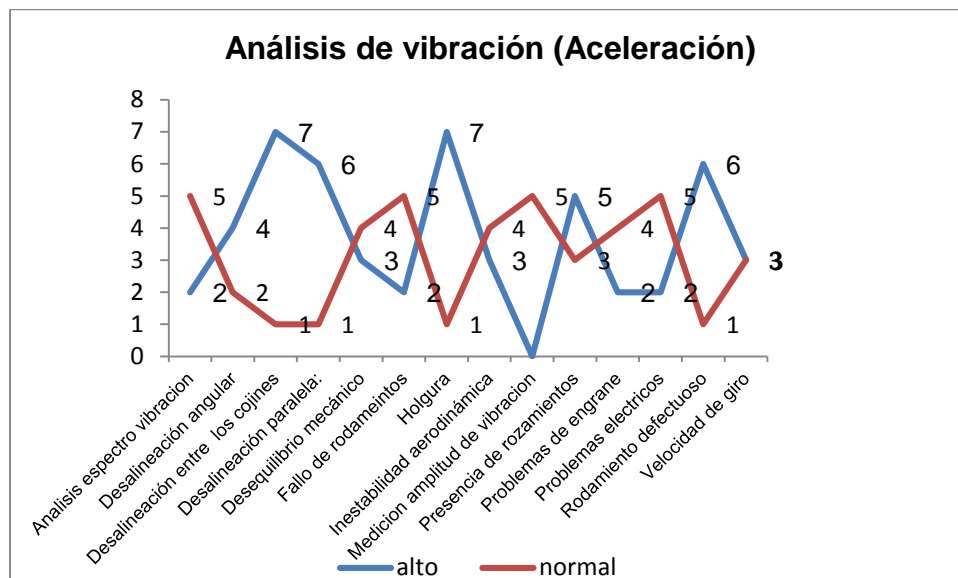


Figura 21. Análisis de aceleración.
Figura. Estadístico Proyecto Tantahuatay, 2016.

En la Figura 21. De análisis de vibración por aceleración, se aprecia que la mayor causa de vibraciones por aceleración es por desalineación entre los cojines y por holgura, durante el periodo de estudios. Lo que infiere que es un problema que puede detectarse al encontrar una tendencia para analizar problemas a altas frecuencias en piñones, cajas reductoras, daño de rodamientos etc.

Este análisis es complemento al análisis de frecuencia, puesto que sirve para confirmar el diagnóstico en aquellas fallas que poseen espectros muy parecidos, por lo que se utiliza cuando se presentan impactos, frotación y holgura, además de las máquinas de baja velocidad y cajas de cambio. Medir la aceleración es mejor para máquinas rápidas.

Análisis de Aceite

Las muestras para el análisis de aceite se tomaron en base al tiempo y disponibilidad de las unidades, las cuales fueron tomadas de la muestra durante el periodo de estudios y luego fueron enviadas al laboratorio mobil de la empresa.



Figura 22. Toma de muestra de aceite.
Fuente: Caterpillar, 2010.

Los resultados obtenidos se compararon con los límites máximos permisibles de aceite (Ver Tabla 15).

TABLA 15. LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE ANÁLISIS DE ACEITE

EQUIPOS	MOTORES 600 HP		
LUBRICANTE	MOBIL SHC 629		
PRUEBAS	Normal	Caution	Critical
oxidación	<= 0.04 %	> 0.04 %	> 0.08 %
TAN	<= 1.5 %	> 1.5 %	> 2.01 %
Agua	<=0.05 %	> 0.05 %	> 0.1 %
Insolubles	<=0.4 %	> 0.4 %	> 0.5 %
Si	<= 15.00 ppm	> 15.00 ppm	> 25.00 ppm
Fe	<= 10.00 ppm	> 10.00 ppm	> 15.00 ppm
Al	<= 10.00 ppm	> 10.00 ppm	> 20.00 ppm
Cu	<= 10.00 ppm	> 10.00 ppm	> 20.00 ppm
Zinc	<= 10.00 ppm	> 10.00 ppm	> 20.00 ppm
Cr	<= 10.00 ppm	> 10.00 ppm	> 20.00 ppm
Sn	----	----	----

Fuente: (Díaz, 1994).

A continuación se muestran los resultados del promedio de análisis de aceite realizados a la muestra en estudio, en el

laboratorio móvil del Proyecto Tantahuatay, durante el periodo de estudio, la muestra de aceite se aprecia en el Ver Anexo 3 :

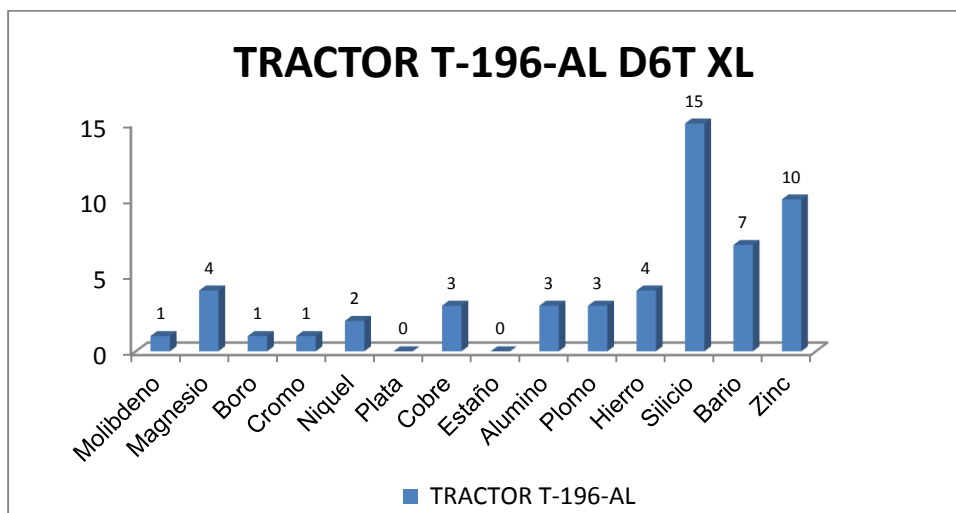


Figura 23. Análisis de aceite - condición de vibraciones junio 2016.
Fuente: Elaboración propia, 2016.

En la Figura 23, se aprecia la Muestra N° 7, de análisis de aceite del motor del Tractor Oruga Caterpillar® (T-196-AL-D6T XL), analizado el 18 de junio de 2016, en el laboratorio móvil de la empresa, señala que el elemento silicio alcanza el Límite Máximo en 15 ppm y un desgaste de zinc de 10 ppm que alcanza el Límite Máximo Permisible, seguido de un desgaste de bario de 7 ppm, por lo que se comprobó que el motor fallará por la concentración de contaminantes, se procedió a cambiar el aceite y se cambió al equipo de rodamientos superior e inferior.

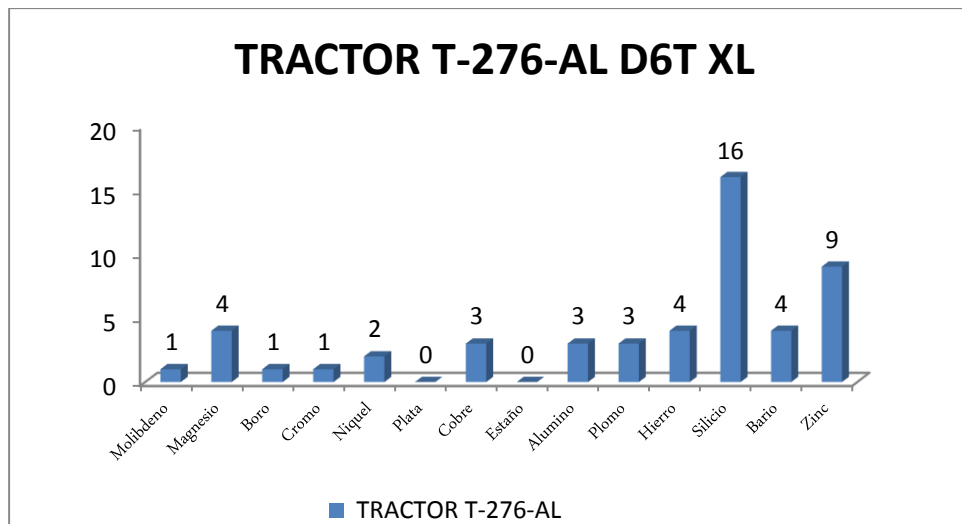


Figura 24. Análisis de aceite - condición de vibraciones julio 2016.
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 24, se aprecia la Muestra N° 13, de análisis de aceite del motor del Tractor Oruga Caterpillar® (T-276-AL D6T XL), analizado el 19 de julio de 2016, en el laboratorio mobil de la empresa, señala que el elemento silicio alcanza el Límite Máximo Permisible de 16 ppm y un desgaste de zinc de 09 ppm que no alcanza el Límite Máximo Permisible, seguido de magnesio, hierro y bario con un desgaste de 4 ppm, por lo que se comprobó que el motor necesita urgente un mantenimiento correctivo.

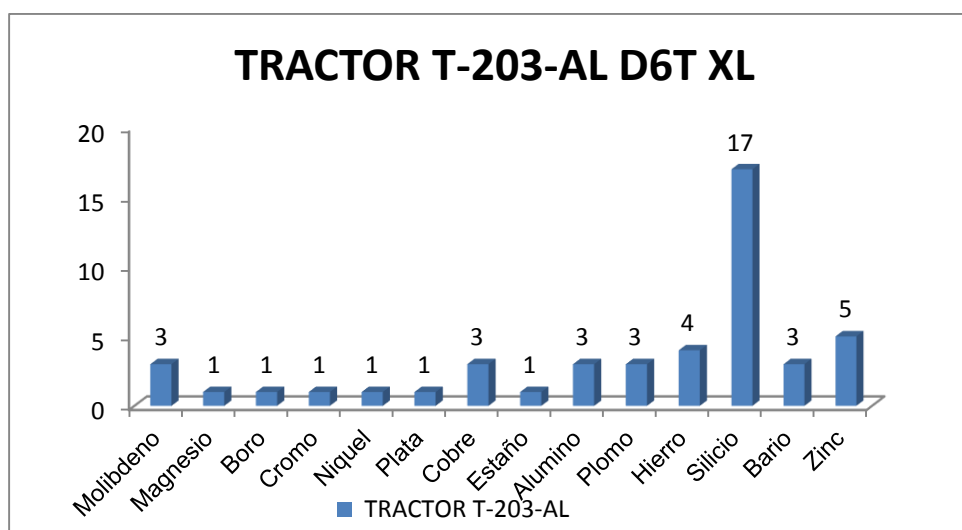


Figura 25. Análisis de aceite - condición de vibraciones agosto 2016.
Fuente: Elaboración propia, 2016.

En la Figura 25, se aprecia la Muestra N° 10, de análisis de aceite del motor del Tractor Oruga Caterpillar® (T-203-AL D6T XL), analizado el 18 de agosto de 2016, en el laboratorio mobil de la empresa, señala que el elemento silicio Sí, supera el Límite Máximo Permisible en 17 ppm y un desgaste de zinc de 5 ppm y fierro que no supera el Límite Máximo Permisible, por lo que se comprobó que el motor fallará por la concentración de contaminantes, se procedió a cambiar el aceite y se cambió de rodamientos superior e inferior.

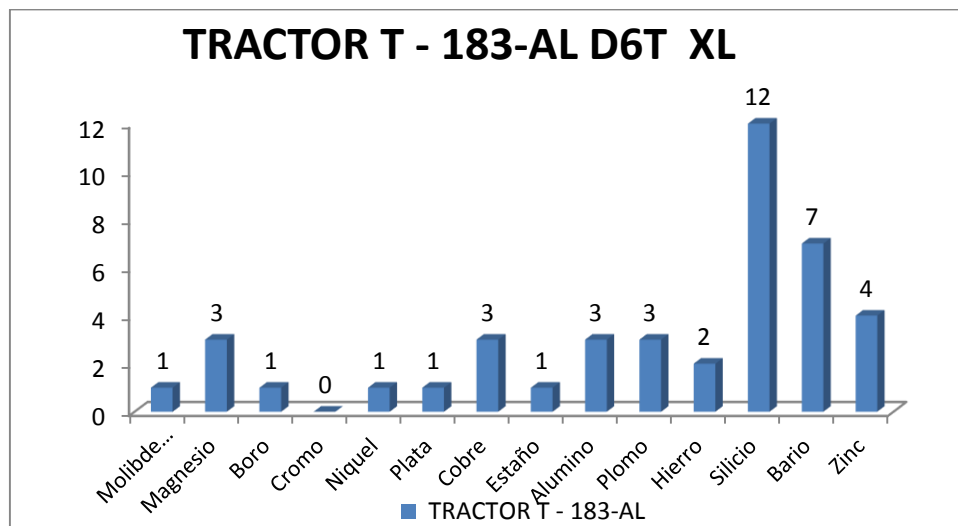


Figura 26. Análisis de aceite - condición de vibraciones agosto 2016
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 26, se aprecia la Muestra N° 15, de análisis de aceite del motor del Tractor Oruga Caterpillar® (T-183-AL D6T XL), analizado el 25 de agosto de 2016, en el laboratorio mobil de la empresa, señala que el elemento silicio no supera el Límite Máximo Permisible, presentó 12 ppm y un desgaste de bario de 7 ppm que no supera el Límite Máximo Permisible, por lo que indica que el motor no necesita revisión urgente porque no se encuentra en condiciones anormales de funcionamiento.

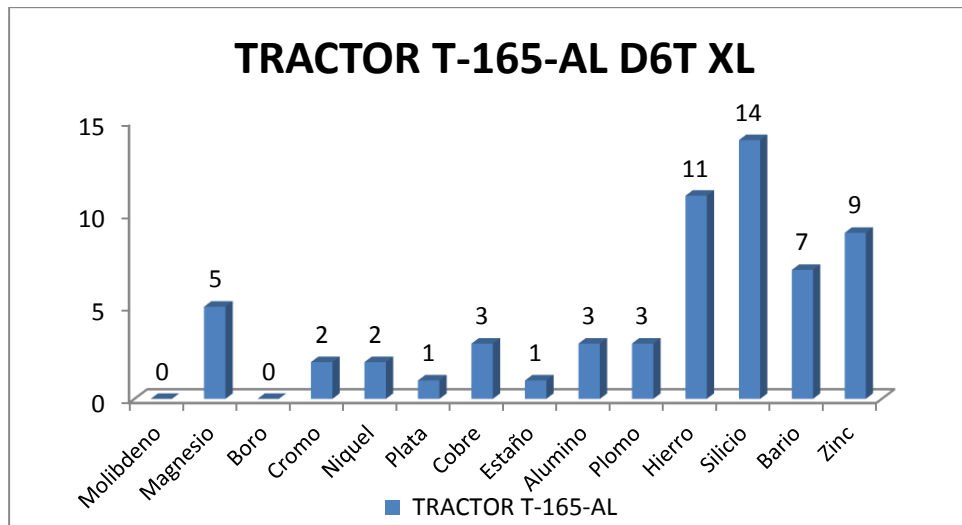


Figura 27. Análisis de aceite - condición de vibraciones setiembre 2016
Fuente: Elaboración propia, 2016.

En la Figura 27, se aprecia la Muestra N° 18, de análisis de aceite del motor del Tractor Oruga Caterpillar® (T-165-AL D6T XL) , analizado el 15 de setiembre de 2016, en el laboratorio mobil de la empresa, señala que el elemento silicio no supera el Límite Máximo Permisible llegando a 14 ppm pero sí se aproxima y un desgaste de hierro de 11 ppm que Sí, supera el Límite Máximo Permisible en 1 ppm, seguido de zinc con 9 ppm y bario con 7 ppm, que no supera el Límite Máximo Permisible, por lo que indica que de los análisis de aceite realizados los motores y al superar el Limite Maximo Permisible, puede haber acontecido por el desgaste o herrumbre, si un motor tiene aceite contaminado tendrá desgaste por contacto o falta de lubricación hidrodinámica.

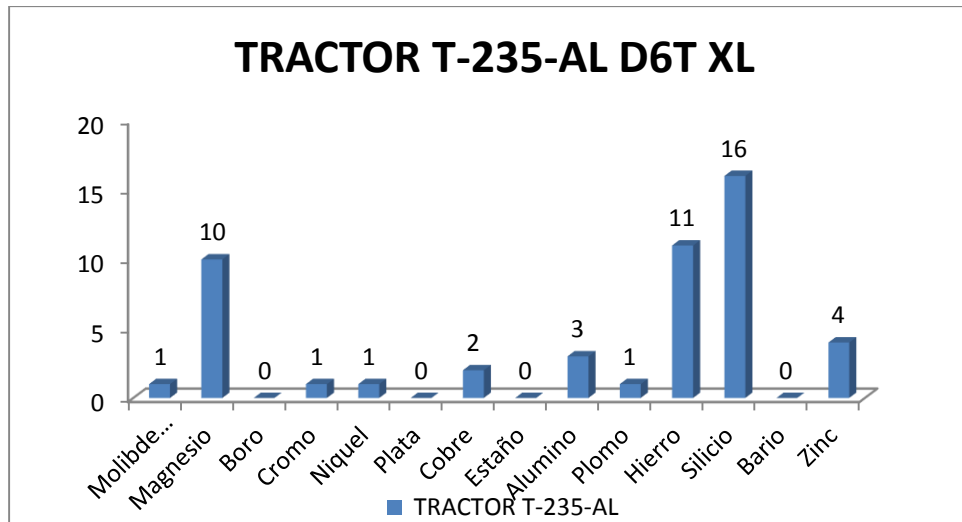


Figura 28. Análisis de aceite y condición de vibraciones setiembre 2016.
Fuente: Elaboración propia, 2016.

En la Figura 28, se aprecia la Muestra N° 20, de análisis de aceite del motor del Tractor Oruga Caterpillar® (T-235-AL D6T XL), analizado el 27 de setiembre de 2016, en el laboratorio móvil de la empresa, señala que el elemento silicio Sí, supera en 1 ppm, el Límite Máximo Permisible llegando a 16 ppm y un desgaste de hierro de 11 ppm que Sí, supera el Límite Máximo Permisible en 1 ppm, seguido de magnesio con 10 ppm que no supera el Límite Máximo Permisible, por lo que indica que los análisis de aceite realizados los motores tienen contaminación con agua, polvo y material particulado y las piezas de hierro que superan el Límite Máximo Permisible son sujetas a herrumbrarse. Si la herrumbre es severa, puede continuar después de corregir el problema hasta que el aceite logre controlarla.

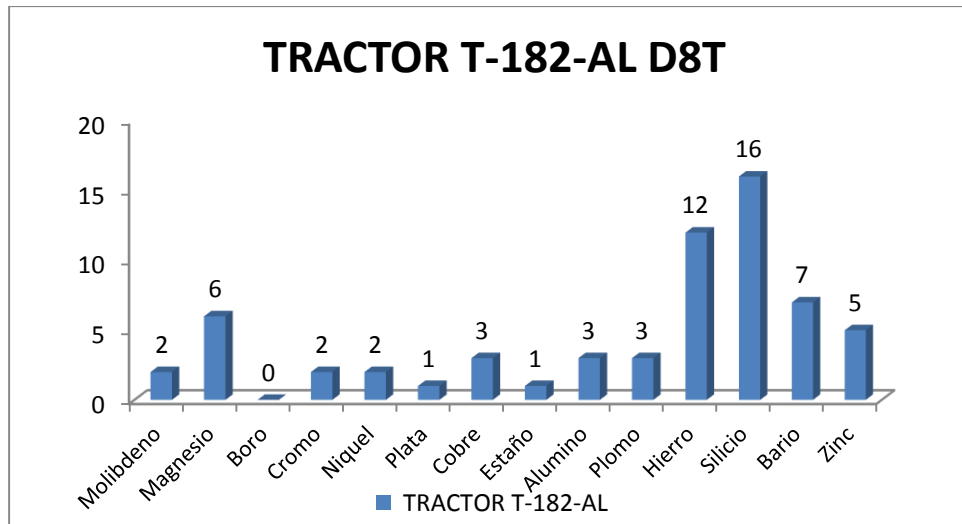


Figura 29. Análisis de aceite y condición de vibraciones octubre 2016.
Fuente: Elaboración propia, 2016.

En la Figura 29, se aprecia la Muestra N° 22, de análisis de aceite del motor del Tractor Oruga Caterpillar® (T-182-AL D8T), analizado el 12 de octubre de 2016, en el laboratorio móvil de la empresa, señala que el elemento silicio Sí, supera en 1 ppm, el Límite Máximo Permisible llegando a 16 ppm y un desgaste de hierro de 12 ppm que Sí, supera el Límite Máximo Permisible en 2 ppm, seguido de un desgaste de bario en 7 ppm que no supera el Límite Máximo Permisible, por lo que indica que los análisis de aceite realizados anuncian que los motores tienen contaminación con agua, polvo y las piezas de hierro que superan el Límite Máximo Permisible son sujetas a herrumbrarse.

Si la herrumbre es severa, puede continuar después de corregir el problema hasta que el aceite logre controlarla.

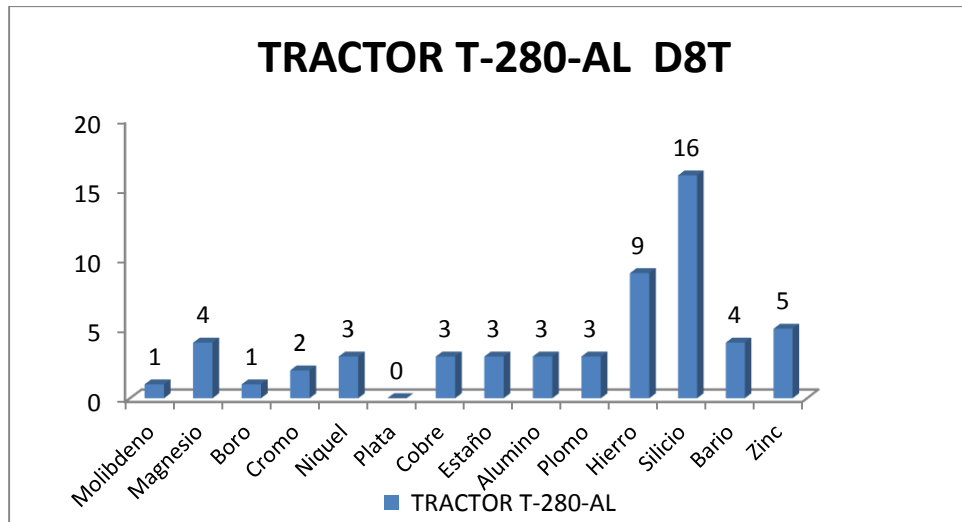


Figura 30. Análisis de aceite y condición de vibraciones octubre, 2016.
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 30, se aprecia la Muestra N° 23, de análisis de aceite del motor del Tractor Oruga Caterpillar® (T-280-AL D8T), analizado el 21 de octubre de 2016, en el laboratorio móvil de la empresa, señala que el elemento silicio Sí, supera el Límite Máximo Permisible llegando a 16 ppm y un desgaste de hierro de 9 ppm, seguido de bario y magnesio con 4 ppm, que no superan el Límite Máximo Permisible, por lo que se comprobó que el motor no se encuentra en condiciones normales de funcionamiento y fallará, necesitando revisión técnica.

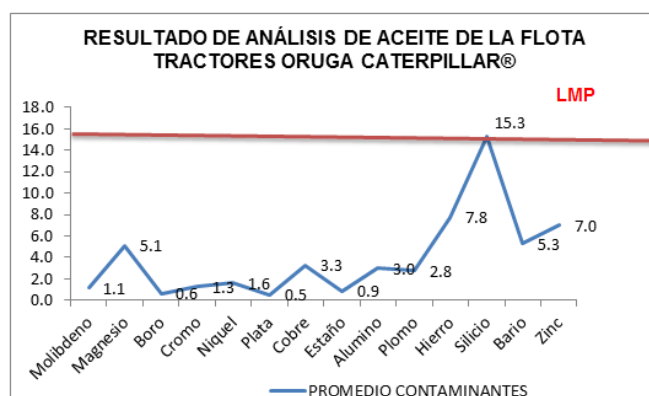


Figura 31. Resumen del análisis de aceite de la muestra en estudio.
Fuente: Elaboración propia, 2016.

En la Figura 31, se aprecia el resultado de la muestra en estudio del análisis de aceite en el laboratorio móvil del Proyecto Tabtahuatay, proyecta que el elemento silicio Sí, supera el Límite Máximo Permisible en 0.3 ppm obteniendo un promedio de las muestras durante el periodo de estudios de 15.3 ppm, seguido de un desgaste de hierro de 7.8 ppm, que durante el periodo de estudios, no supera los límites máximos permisibles. Por ende se tomó acciones en: Inspección de fuga de aceite hidráulico, fuga de aceite de cilindro, evaluar resumen de aceite hidráulico.

Para la Termografía Infrarroja

Para el presente análisis se usó una cámara termográfica marca FLIR, que transforma la imagen de infrarrojos en una imagen radiométrica del motor y permitió leer los valores de temperatura de los motores que no superaran los 60 °C. En el análisis termográfico de la muestra en estudio se realizó 2 tomas de termografía de ambos lados del cuerpo del motor durante el periodo de estudios, encontrándose las siguientes temperaturas promedio:

TABLA 16. MUESTRAS DE TERMOGRAFÍA DE TRACTORES ORUGA

Temperatura Termografía Infrarroja FLIR-2016						
Meses	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
°C	59	58	43	77	66	47
°C	81	65	41	63	70	55
Promedio	70	61.5	42	70	68	51
	P	T	N	P	T	N

Fuente: Área de Planificación de Proyecto Tantahuatay.

Por lo que el promedio de las más sobresalientes temperaturas de cada mes supera el 61.5 °C, clasificándola en estado Tolerable (T), mientras que las temperaturas entre 40 a 60 °C se las considera como Normal (N) y de un rango de 60 a 70 °C en estado de Precaución (P) a la vez se hizo un seguimiento a los

Límites Máximos Permisibles para evaluar las temperaturas por cada dos medidas en cada mes desde el 01 de junio al 01 de noviembre(Ver Tabla 16).

B. Tecnologías Predictivas

La implementación y uso de tecnologías predictivas y sistemas de monitoreo sirvió como apoyo a los programas de mantenimiento y contribuyó en la detección predicción y pronóstico de fallas. Al detectar el mal funcionamiento de la flota de Tractores Oruga Caterpillar® del Proyecto Tantahuatay con antelación a que una falla funcional ocurra, se analizó las tecnologías predictivas a utilizar en el presente trabajo de investigación para poder corregir la falla de manera planificada, como se especifica a continuación:

Tecnologías Predictivas de Análisis de vibración

TABLA 17. TECNOLOGÍAS PREDICTIVAS -ANÁLISIS DE VIBRACIÓN

TECNOLOGÍAS PREDICTIVAS DE MONITOREO PROYECTO TANTAHUATAY								
Resumen de Análisis de vibración Junio – noviembre 2016								
Desplazamiento			velocidad			aceleración		
Normal	Tolerable	Alarma	Normal	Tolerable	Alarma	Normal	Tolerable	Alarma
5	2	1	5	2	1	4	2	2
TOTAL DE EQUIPOS MONITOREADOS								8

Fuente: Elaboración propia, 2016.

En la Tabla 17. Se aprecia que en el resumen de análisis de vibración desde el 01 de junio al 01 de noviembre 2016, en 3 aspectos en relación a la velocidad, el desplazamiento y la aceleración para supervisión y diagnóstico de fallos total de la flota de Tractores Oruga Caterpillar® del Proyecto Tantahuatay, encontrándose fallas en los equipos en cuanto a rodamientos y engranajes.

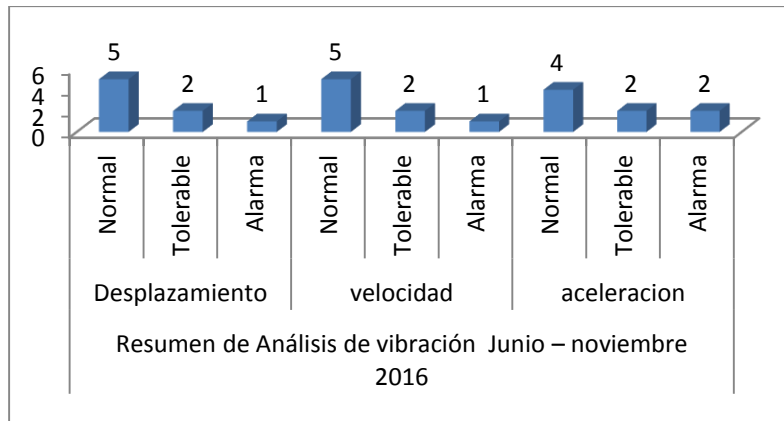


Figura 32. Resumen de Análisis de vibración Junio – noviembre 2016
Fuente. Elaboración propia, 2016.

En la Figura 32, Se aprecia en el resumen de análisis de vibración desde el 01 de junio al 01 de noviembre 2016, en relación a la flota de Tractores Oruga Caterpillar® se detalla:

- En relación con el desplazamiento la data proyecta el estado de Alarma (A), para un equipo Tractor Oruga caterpillar® D6T XL de la muestra en estudio, se infiere; un inmediato mantenimiento predictivo para evitar que la máquina deje de funcionar y pare por desalineación paralela y por fallo de rodamientos, generando un coste no programado para la empresa.
- En relación con la velocidad la data proyecta, el estado de Alarma (A), para un equipo Tractor Oruga caterpillar® D6T XL, de la muestra en estudio, lo que infiere; un inmediato mantenimiento predictivo para evitar que la máquina deje de funcionar y pare, generando un coste no programado para la empresa.
- En relación con la aceleración, la data proyecta el estado de Alarma (A), para dos equipos Tractor Oruga caterpillar® D6T XL y un D8T de la muestra en estudio, infiere; un inmediato mantenimiento predictivo para evitar que la máquina deje de funcionar y pare por desalineación entre los cojines y por

holgura, durante el periodo de estudios, generando un coste no programado para la empresa.

Tecnologías Predictivas de Análisis de aceite

TABLA 18. TECNOLOGÍAS PREDICTIVAS -ANÁLISIS DE ACEITE.

TECNOLOGÍAS PREDICTIVAS DE MONITOREO PROYECTO TANTAHUATAY			
RESUMEN ANÁLISIS DE ACEITE JUNIO A NOVIEMBRE 2016			
Normal	Tolerable	Precaución	Alarma
1	1	0	6
TOTAL DE EQUIPOS MONITOREADOS			8

Fuente: Elaboración propia, 2016.

En la Tabla 18. Se aprecia que en el resumen de análisis de aceite desde el 01 de junio al 01 de noviembre 2016, para supervisión y diagnóstico de fallas de la flota de Tractores Oruga Caterpillar® del Proyecto Tantahuatay, se encontró que:

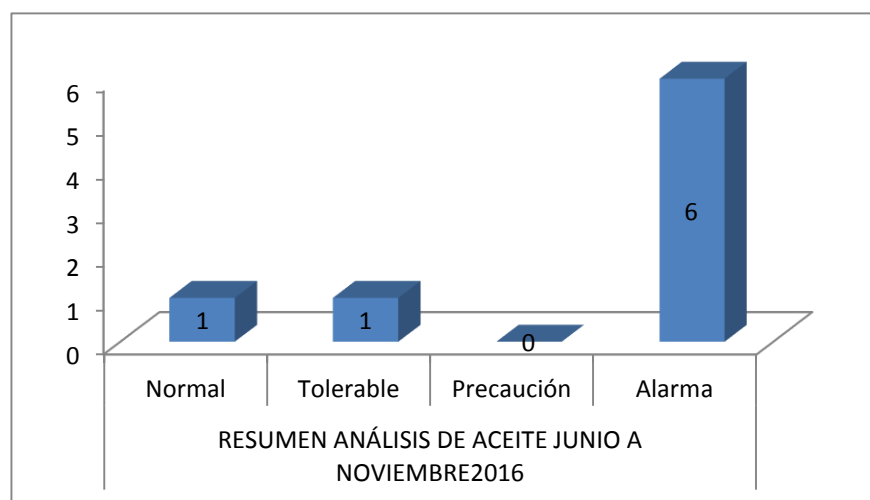


Figura 33. Resumen de Análisis de aceite junio a noviembre 2016.
Fuente. Elaboración propia, 2016.

En la Figura 33, de Tecnologías Predictivas de análisis de aceite, se encontró 6 equipos con la máxima concentración del elemento silicio, que a continuación se detallan:

El equipo Tractor Oruga Caterpillar® (T-276-A 6DT XL), Sí, supera LMP, analizado el 19 de julio de 2016, en 1 ppm; el Tractor Oruga Caterpillar® (T-203-AL 6DT XL), analizado el

18 de agosto de 2016, Sí, supera en 2 ppm, el LMP; el Tractor Oruga Caterpillar® (T-165-AL 6DT XL), analizado el 27 de setiembre de 2016, Si, supera el LMP; en 1 ppm. El Tractor Oruga Caterpillar® (T-235-AL XL), analizado el 15 de setiembre de 2016, Sí, supera el LMP; en 1 ppm el Tractor Oruga Caterpillar® (T-182-AL D8T), analizado el 12 de octubre de 2016, Sí, supera el LMP; en 1 ppm el Tractor Oruga Caterpillar® (T-280-AL D8T), analizado el 21 de octubre de 2016, Sí, supera el LMP; en 1 ppm. En 1 ppm, obteniendo un promedio de Alarma total de 15.3 ppm, excediendo el LMP como se aprecia en la Ver Figura 33, por lo que se concluye que los 6 equipos necesitan urgente mantenimiento predictivo para evitar costes no programados a la empresa anticipando las fallas del motor que por simple induccion se encuentran desgastados en los bujes y cojinetes de árbol de levas, martillo, pasadores y pistones, etc.

En el análisis de la Tecnologías Predictivas de aceite, se concluye que debe de hacer las siguientes acciones como: Eliminar fuga de aceite de transmisión, eliminar fuga de aceite hidráulico por el tanque hidráulico, para adelantar a las fallas del equipo.

Tecnologías Predictivas de Termografía

En la Tabla 19. Se aprecia el resumen de análisis de termografía desde mes de 01 de junio al 01 de noviembre 2016, de los 8 equipos del proyecto Tantahuatay como se especifica a continuación:

TABLA 19.TECNOLOGÍAS PREDICTIVAS DE TERMOGRAFÍA

RESUMEN ANÁLISIS DE TERMOGRAFÍA JUNIO A NOVIEMBRE 2016			
Normal	Tolerable	Precaución	Alarma
4	2	2	0
TOTAL DE EQUIPOS MONITOREADOS			8

Fuente. Elaboración propia, 2016.

En la Tabla 19. Se aprecia el resumen de análisis de termografía desde el mes de 01 de junio al 01 de noviembre 2016, de los 8 equipos del proyecto Tantahuatay como se especifica a continuación:

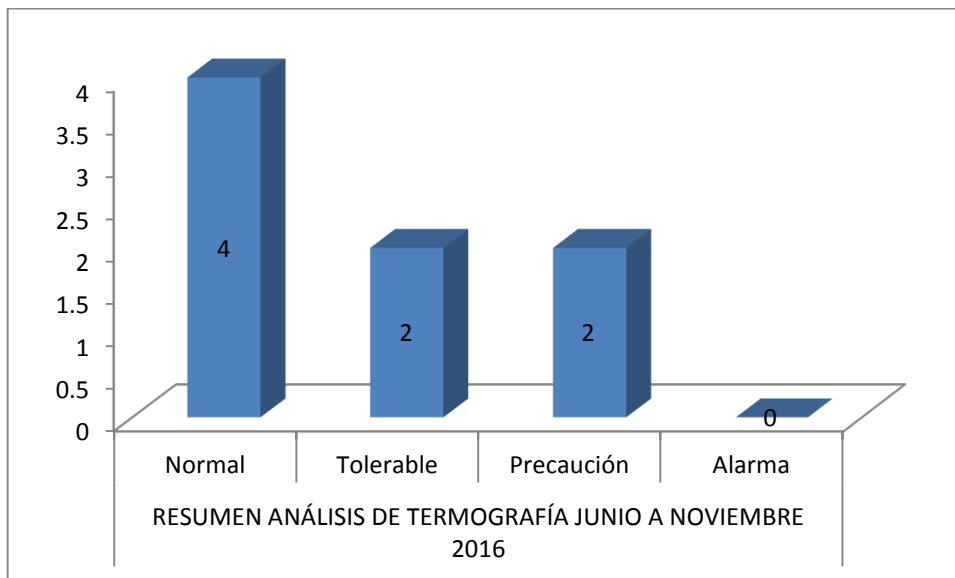


Figura 34. Resumen de Análisis de termografía de junio a noviembre 2016
Fuente. Elaboración propia, 2016.

En la Figura 34. De Tecnologías Predictivas de análisis de termografía, se encontró 4 equipos en nivel Normal, 2 en nivel Tolerable, se detectó qué componentes de los equipos muestra de estudio están a punto de averiarse y se tomó medidas correctivas, lo mismo se corrigió para el nivel de precaución a 2 equipos los que estarían en observacion se inspeccionó rápidamente los equipos a una distancia de

seguridad, con precauciones para abandonar si es necesario la zona de riesgo y se inspeccionó el sistema eléctrico.

3.1.4. Implementación de la Metodología Lean Belt:

En esta sección de diagnóstico se analizó y se dio propuestas de cada una de las mejoras a implementar en base a la metodología Lean Belt en las sucesivas fases (Enfocar, Operar y Crear), así como también se analizó la causa raíz, validando las hipótesis del diagnóstico de fallos.

A. Implementación de las fases:

Fase 1: Mejora a partir de fase Enfocar

Se determinó la necesidad del negocio en este caso de la empresa y de nuestro principal cliente externo el **Área de Operaciones**, quien tiene como principal necesidad, el solicitar el servicio de mantenimiento de la Flota de Tractores de Oruga Caterpillar® al área de Operaciones. Teniendo como principal indicador la disponibilidad de la flota de carguío en este proceso participaron líderes, inspectores, y supervisores, se consideró las oportunidades de mejora.

Concluyendo una necesidad del área de operaciones del Proyecto Tantahuatay, en mejorar:

- Mejorar las paradas no programadas en 40% a los equipos de la flota de Tractores de Oruga Caterpillar®.
- Se precisa que las paradas no programadas de la Flota de Tractores Oruga Caterpillar® no sólo perjudican la disponibilidad, sino perjudican la percepción que tiene

el cliente del servicio, es decir, el servicio no brinda la confiabilidad que necesita el cliente para poder quedar satisfecho con el servicio entregado. Es por eso la importancia de mejorar el proceso de mantenimiento preventivo en un porcentaje aceptable.

- Contar con un mejor stock de repuestos y herramientas en almacén.

Fase 2: Mejora a partir de fase Operar

Para el desarrollo de esta segunda fase se buscó información sobre trabajos operativos para precisar los problemas antes de sugerir las soluciones. Por lo que se implementó herramientas Lean que permitió identificar los fallos como:

En el **Diagrama de Ishikawa** que se observó oportunidades de mejora en las diferentes fallas en las áreas de trabajo (Ver Figura 16) programando lo siguiente:

- Una vez que el equipo está en el taller el Líder: fue el encargado de hacer seguimiento de todos los trabajos programados y no programados.
- El Líder verificó información en correos y reportes de trabajos no programados, preparó herramientas y accesorios que se utilizó en el mantenimiento predictivo.
- El Líder evaluó eventos de trabajos programados y no programados, generó las órdenes de trabajo, realizó el pedido y recogió los repuestos a usar así como también ejecutó la reparación y comprobó datos.

Fase 3: Mejora de la Fase Crear

Implementación de las 5 S: Para la ejecución de esta mejora se procedió a organizar el área de mantenimiento estableciendo en primer lugar el orden, limpieza y disciplina en el área, se contribuyó a la eliminación de desperdicios que estaba obstaculizando la zona.

Se cumplió las cinco etapas (Clasificar, ordenar, limpiar, estandarizar y sostener), se cumplió el plan de implementación trazado y se consideró 00 días de implementación durante 17 días (Ver Tabla 20).

TABLA20. PLAN DE IMPLEMENTACIÓN DE LAS 5 “S”

Nombre de la Tarea	Duración	Setiembre 2016															
Plan de implementación	17días																
Etapas de Clasificar	1 día	■															
Etapas de Ordenar	1 día		■														
Etapas de Limpiar	1 día			■													
Etapas de Estandarizar	4 días				■	■	■	■									
Etapas Sostener	10 días								■	■	■	■	■	■	■	■	■

Fuente: Elaboración propia, 2016.

A. Desarrolló el Plan de implementación

a. Etapa Clasificar: Se clasificó y ordenó los materiales que se encontraron desordenados en el piso y en diferentes lugares del área de mantenimiento del Área de Operación de Carguío y Acarreo del Proyecto Tantahuatay, clasificándolos de acuerdo a su condición, clasificándolos solo los que son necesarios, para las operaciones de mantenimiento y así evita evitar incomodidad para el operario y el movimiento de los materiales. Se desarrolló bajo el siguiente criterio:

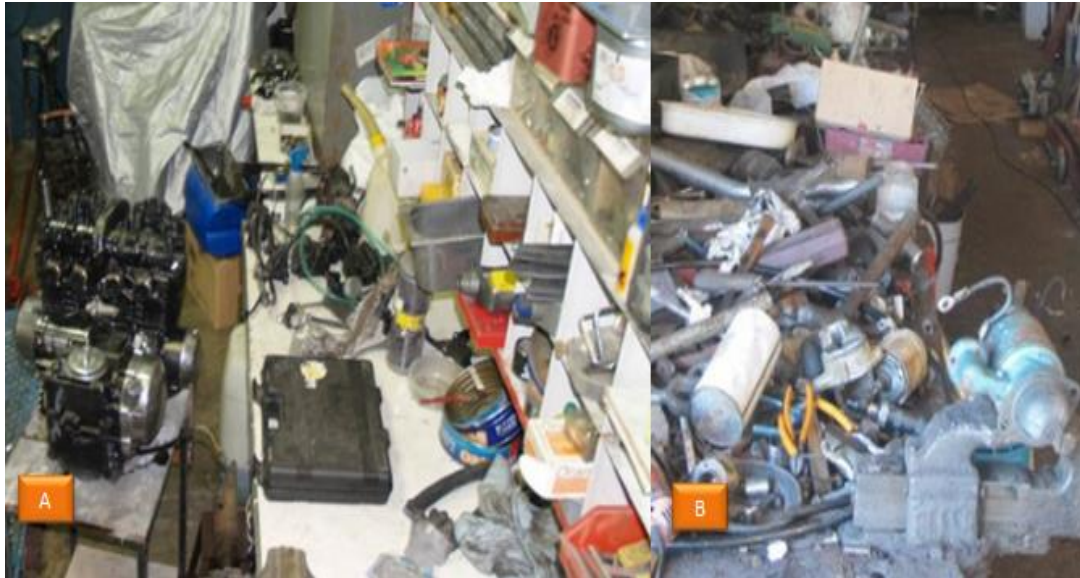


Figura 35. Selección de herramientas A y B.
Fuente: Elaboración propia, 2016.

- b. Etapa Ordenar:** Se ordenó los materiales útiles en lugares visibles se mejoró la imagen del área de mantenimiento, con un ambiente libre se evitó riesgos y accidentes.

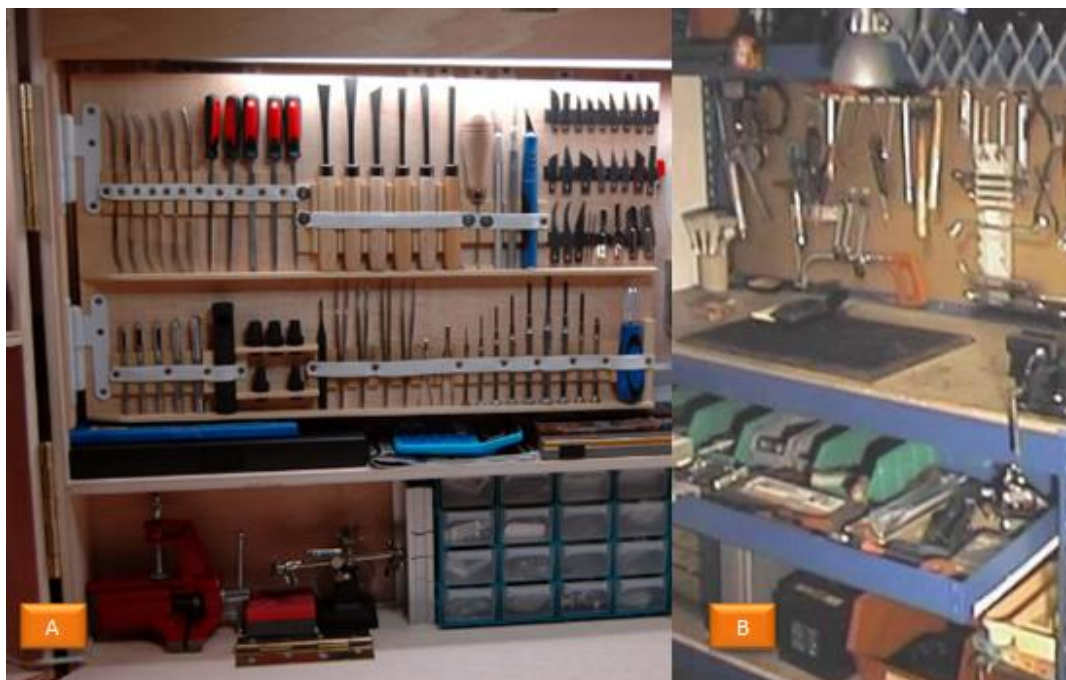


Figura 36. Clasificación de herramientas.
Fuente: Elaboración propia, 2016.

c. Etapa Estandarizar: En esta etapa se logró estándares a la práctica de las tres primeras “S” y el comienzo de la cuarta S, que está relacionada con la creación de los hábitos para conservar el lugar de trabajo en mejores condiciones.

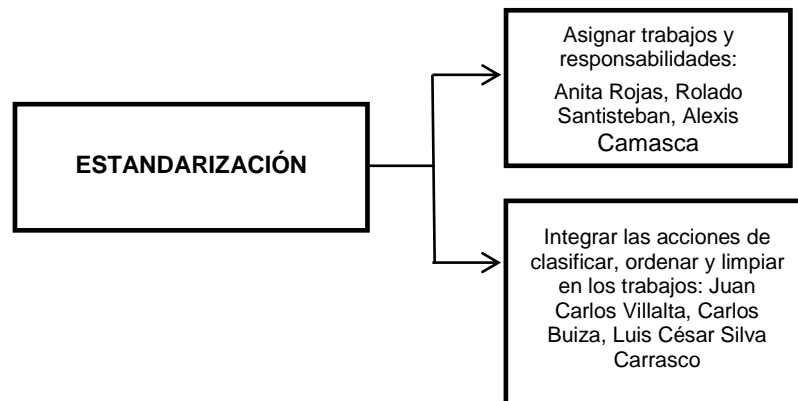


Figura 37. Estandarización de mejora a personal área de operaciones.
Fuente: Elaboración propia, 2016.

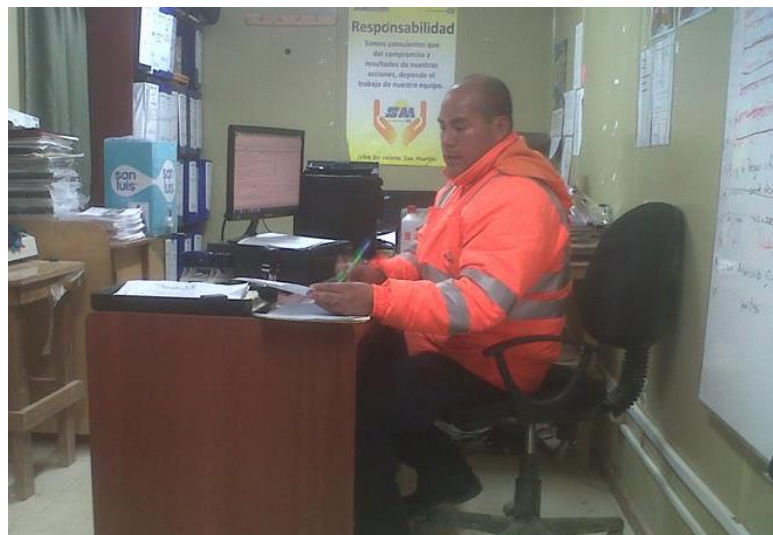


Figura 38. Mantener los estándares de limpieza en trabajo.
Fuente: Elaboración propia, 2016.

d. Etapa Disciplina: Se inculcó la práctica de la disciplina para lograr el hábito de respetar y utilizar correctamente los procedimientos, estándares y controles previamente desarrollados, la disciplina es importante porque sin ella las otras 4 primeras S se deterioran rápidamente.

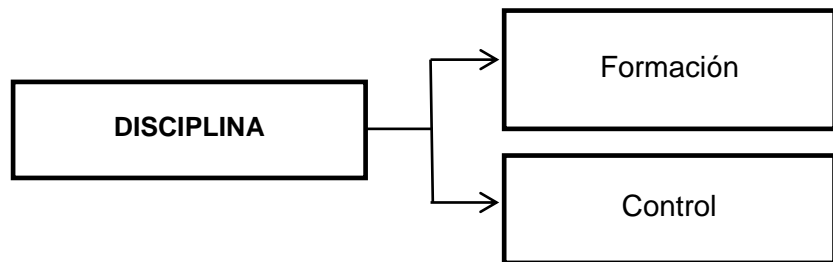


Figura 39. Etapa Disciplina utilizar correctamente estándares.
Fuente: Elaboración propia, 2016.



Figura 40. Etapa Disciplina utilizar correctamente estándares.
Fuente: Elaboración propia, 2016.

B. Analizar causa raíz

Este análisis permitió buscar una solución a las paradas no programadas por evento en el sistema de la flota de Tractores de Oruga Caterpillar®, se ubicó la causa lógica ubicada en la herramienta de árbol lógico de fallas.

Se validó las hipótesis A, para determinar cuáles son verdaderas y cuáles son falsas (A, B, C, y D).

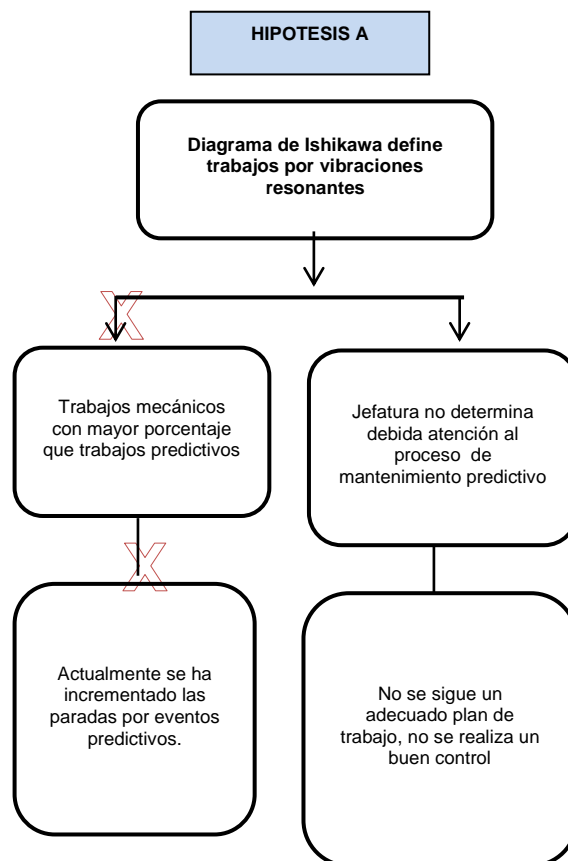


Figura 41.Analizar causa raíz - Hipótesis A.
Fuente: Elaboración propia, 2016.

A continuación se muestra la matriz para la verificación de la hipótesis A, donde se evidencia que no se está incluyendo las actividades el proceso de mantenimiento predictivo.

TABLA 21. MATRIZ PARA LA VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS A

Matriz de verificación de hipótesis				
Camino o rama raíz:	Descripción de la hipótesis:	¿Cómo se verificó?	Verificado por:	Respuesta
Diagrama de Ishikawa define trabajos por vibraciones resonantes	Trabajos mecánicos con mayor porcentaje que trabajos predictivos	Inspección visual en panel	Jefe de Mantenimiento	No es causa raíz; Actualmente se ha incrementado las por eventos predictivos.
	Jefatura no determina debida atención al proceso de mantenimiento predictivo	Revisión reporte del Dispatch programado	Supervisor	(1) Sí es causa raíz; Al no figurar en el Dispatch, no se optimiza los tiempos, no sigue un adecuado plan de trabajo, no se realiza ningún mantenimiento predictivo.

Fuente: Elaboración propia, 2016.

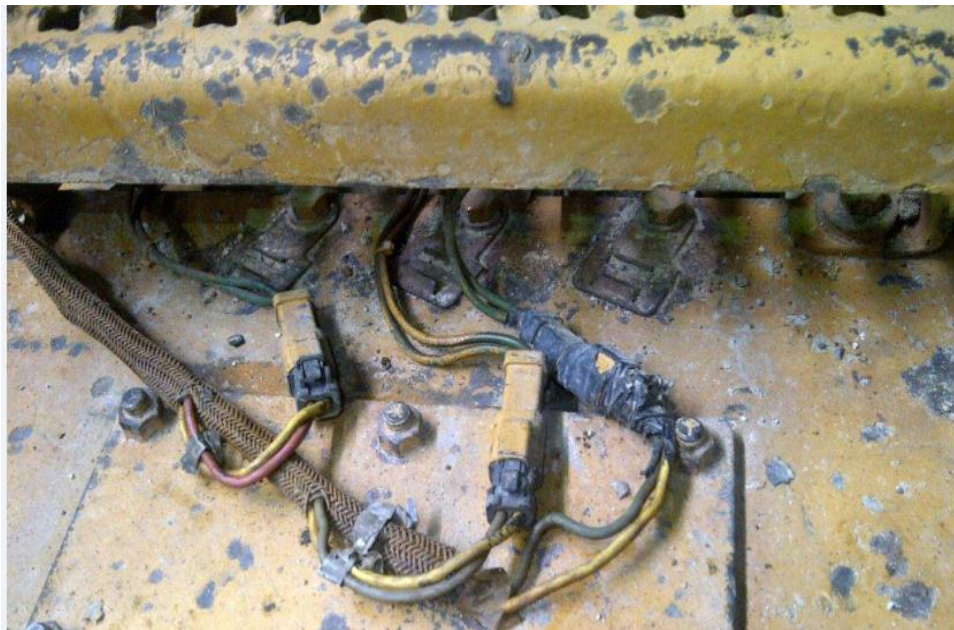


Figura 42. Equipo sin mantenimiento predictivo.

Fuente: Elaboración propia, 2016.

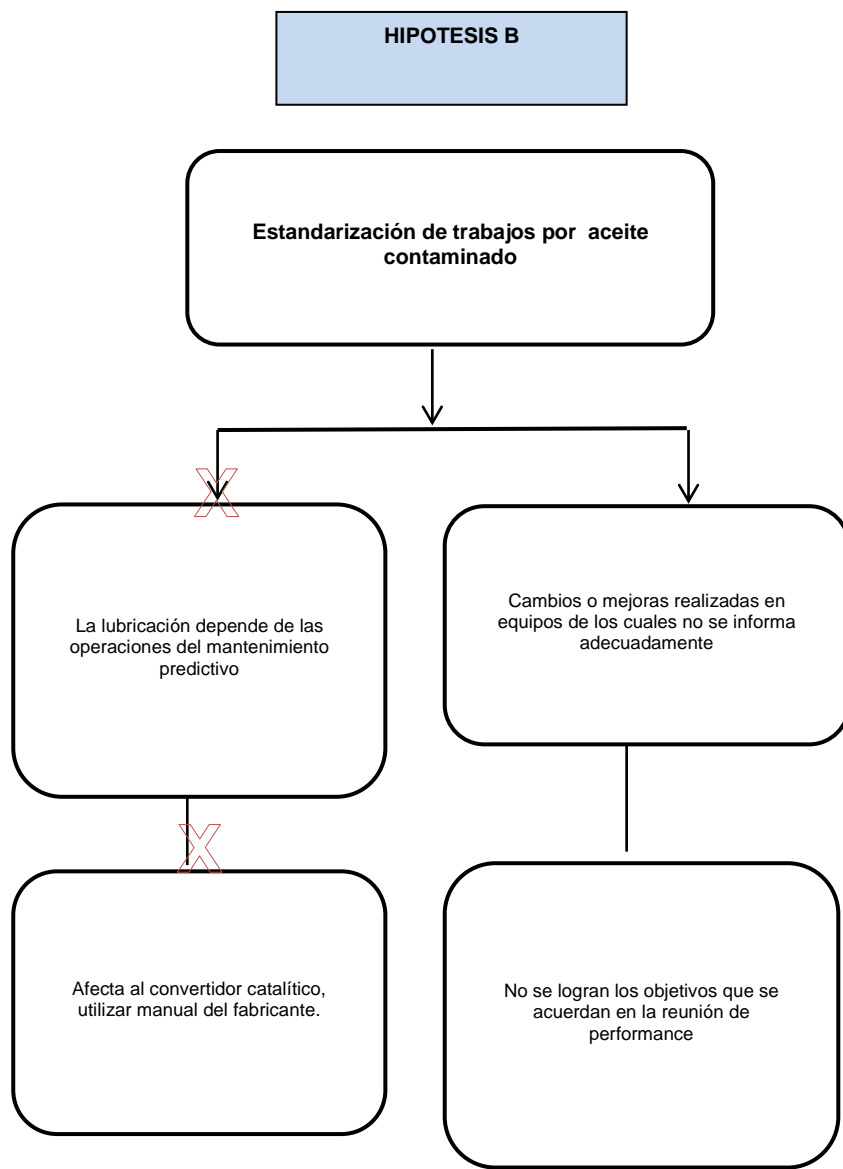


Figura 43. Analizar causa raíz - Hipótesis B.
Fuente: Elaboración propia, 2016.

En la Figura 43, se muestra la identificación si es causa raíz, del formato y la matriz para la verificación de la hipótesis B. Se detalla a continuación la validación:

TABLA 22. MATRIZ PARA LA VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS B

Matriz de verificación de hipótesis B				
Camino o rama raíz:	Descripción de la hipótesis:	¿Cómo se verificó?	Verificado por:	Respuesta
	La lubricación depende de las operaciones del mantenimiento predictivo	Toma de muestra de análisis	Jefe de mantenimiento	No es causa raíz; Afecta al convertidor catalítico, utilizar manual del fabricante
Estandarización de trabajos por aceite contaminado	Cambios o mejoras realizadas en equipos que no se informa adecuadamente	Inspección visual. Se detecta durante el mantenimiento	Técnico de mantenimiento	(2) Sí es causa raíz; Al desconocer las mejoras o planes de acción, no se logran los objetivos acordados en la reunión de performance

Fuente: Elaboración propia, 2016.

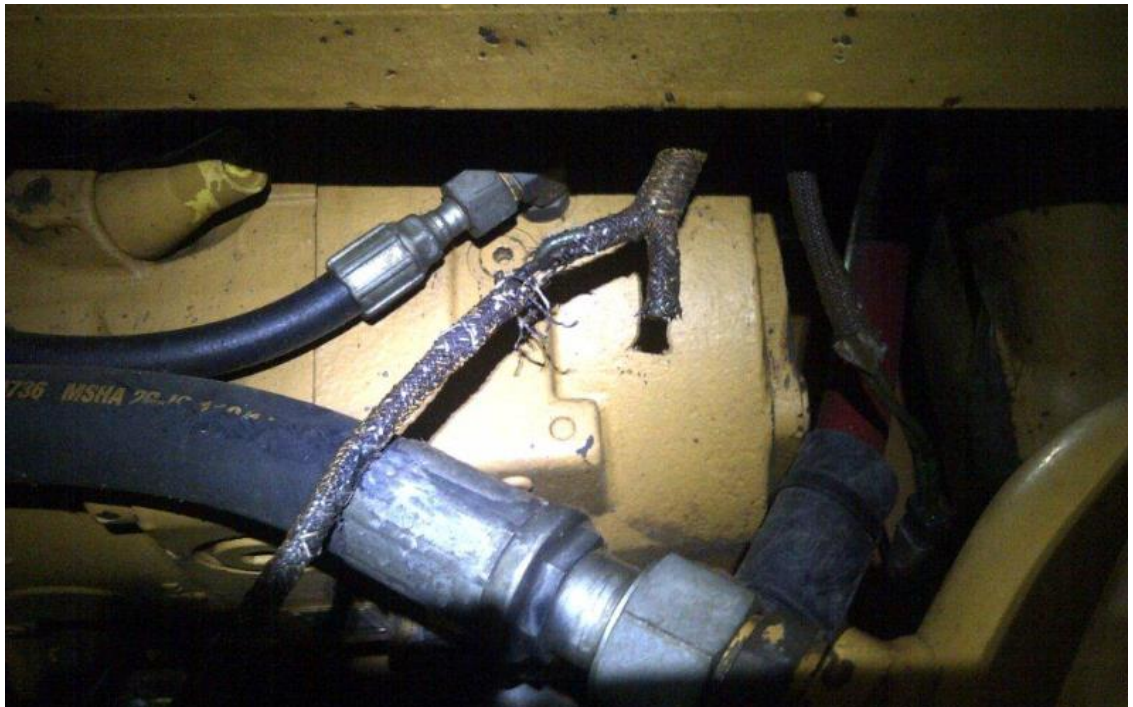


Figura 44. Convertidor catalítico averiado

Fuente: Elaboración propia, 2016.

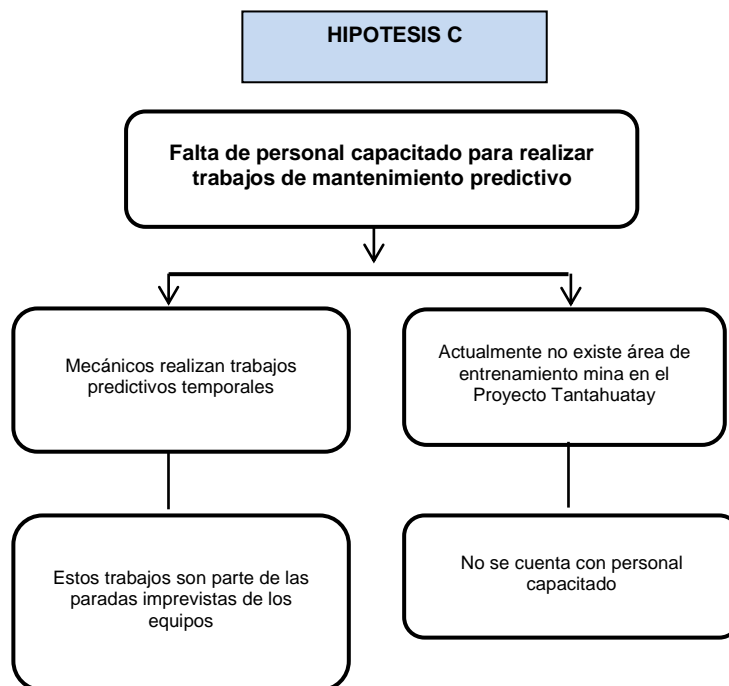


Figura 45. Analizar causa raíz- Hipótesis C.
Fuente: Elaboración propia, 2016.

En la Figura 45, se muestra la identificación si es causa raíz, del formato y la matriz para la verificación de la hipótesis C. Se detalla a continuación la validación:

TABLA 23. MATRIZ PARA LA VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS C

Matriz de verificación de hipótesis C				
Camino o rama raíz:	Descripción de la hipótesis:	¿Cómo se verificó?	Verificado por:	Respuesta
Falta de personal capacitado para realizar mantenimiento predictivo	Mecánicos realizan trabajos predictivos temporales	Inspección visual	Técnico electricista	(3) Sí es causa raíz; Estos trabajos son parte de las paradas no programadas de los equipos
	Actualmente no existe área de entrenamiento mina en el Proyecto Tantahuatay	Supervisor confirma inexistencia de área de entrenamiento	Técnico electricista	(4) Sí es causa raíz; No se tiene personal capacitado

Fuente: Elaboración propia, 2016.

En la Tabla 23, se muestra la identificación si es causa raíz, del formato y la matriz para la verificación de la hipótesis D. Se detalla a continuación la validación:

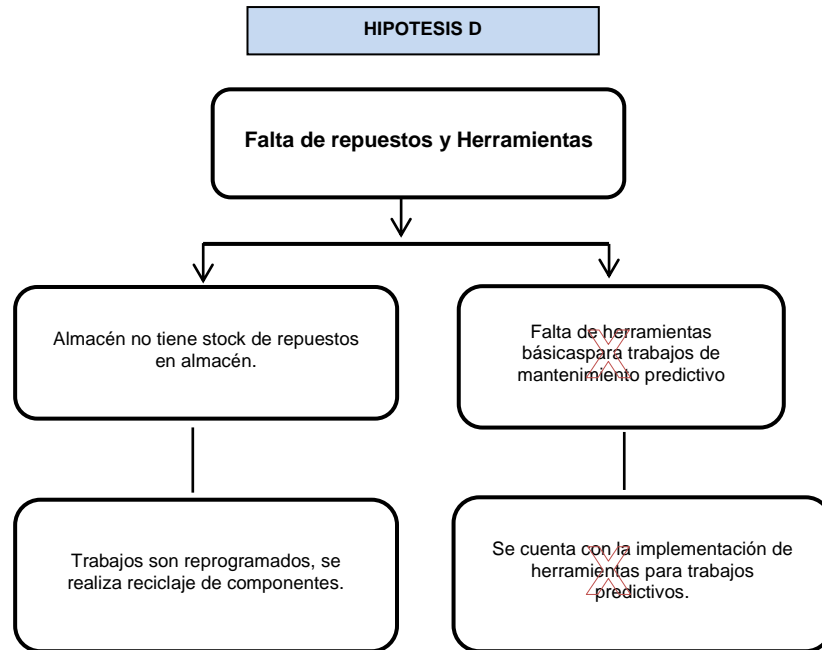


Figura 46. Analizar causa raíz - Hipótesis D.
Fuente: Elaboración propia, 2016.

Al encontrar esta falla, se generó las órdenes de trabajo (OT) para solicitar repuestos, apreciándose que carecen de stock en su almacén que está en la operación, explicándonos que se les acabó pero que realizaron nuevo pedido, o en algunos casos nos explican que no mantienen stock de algunos repuestos porque no tienen mucho movimiento en su almacén.

TABLA 24. MATRIZ PARA LA VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS D

Matriz de verificación de hipótesis D				
Camino o rama raíz:	Descripción de la hipótesis:	¿Cómo se verificó?	Verificado por:	Respuesta
Falta de repuestos / Herramientas	Almacén no mantiene stock de repuestos en almacén	Durante el recojo de los repuestos en almacén	Técnico electricista	(5) Sí es causa raíz; Trabajos son reprogramados, se realiza reciclaje de componentes.
	Falta de herramientas básicas para trabajos de mantenimiento predictivo	Falta de herramientas básicas para trabajo de mantenimiento predictivo.	Técnico electricista	No es causa raíz; No es motivo para la implementación de herramientas para trabajos de mantenimiento predictivo.

Fuente: Elaboración propia, 2016.

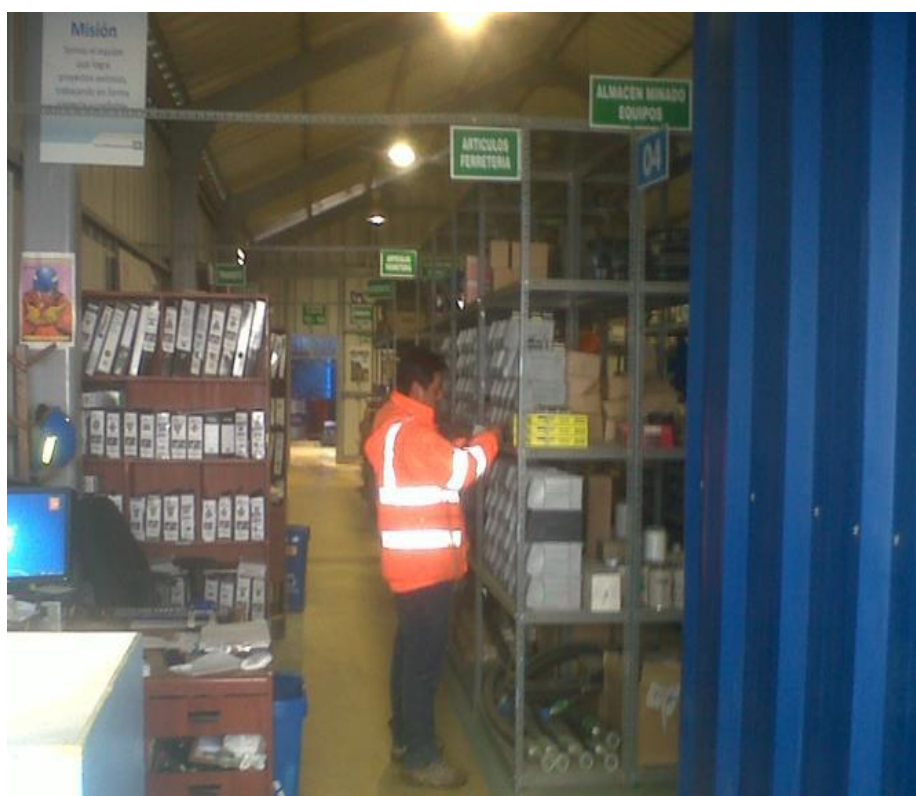


Figura 47. Almacén de Proyecto Tantahuatay, 2016.

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Se muestra a continuación el diagrama completo del árbol lógico donde se visualiza todas las hipótesis como las posibles causas que involucra a la parada no programa de la flota de Tractores Oruga Caterpillar® del Proyecto Tantahuatay.

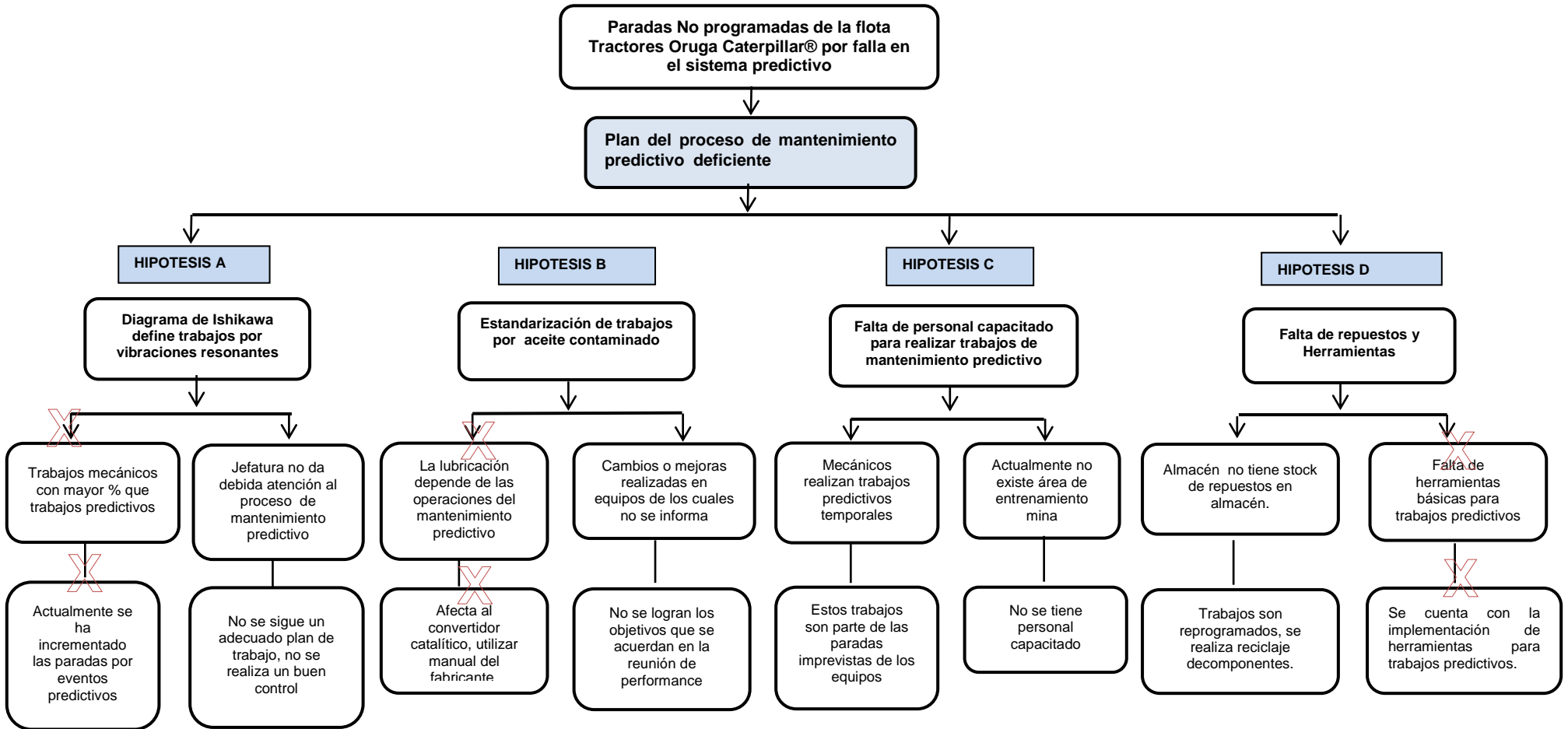


Figura 48. Árbol lógico posible causas que involucre a las paradas no programadas.
Fuente: Elaboración propia, 2016.

TABLA 25. MATRIZ DE ACCIÓN PARA ELIMINAR LAS CAUSAS RAÍCES QUE PERMITEN LAS FALLAS HUMANAS.

Matriz de acción para eliminar las Causas Raíces que permiten las fallas humanas				
Resumen de las causas raíces, que origina las fallas y la solución dada al evento.	-Acciones específicas a tomar para eliminar las causas raíces y las fallas humanas. -Implementación de mejoras	Responsable por cada acción	Fecha específica	Costo o Valor de cada acción
(1) Sí es causa raíz; Al no figurar en el Dispatch, no se optimiza los tiempos, no sigue un adecuado plan de trabajo, no se realiza ningún mantenimiento predictivo.	Se implementa en el Dispatch, los trabajos la inspección, mantenimiento y corrección predictiva.	Supervisor	junio 2016	\$ 0
(2) Sí es causa raíz; Al desconocer las mejoras o planes de acción, no se logran los objetivos que se acuerdan en la reunión de performance.	Se designó a un responsable de dirigir y liderar la reunión de performance relacionado al sistema predictivo a todos los supervisores de línea, líderes y electricistas de las diferentes guardias, de forma virtual.	Electricista:	Mayo 2016	\$ 0
(3) Sí es causa raíz; Estos trabajos son parte de las paradas no programadas de los equipos.	Referir información en las órdenes de trabajo en el sistema SAP, considerando las inspecciones realizadas por los técnicos electricistas.	Supervisores de línea, líderes y electricistas según guardia.	Mayo 2016	\$ 0
(4) Sí es causa raíz; No se tiene personal calificado y capacitado	Se propuso capacitación al personal de mantenimiento para mejorar el desempeño en las tareas relacionadas al sistema predictivo.	Supervisor encargado de la reunión de performance	Junio 2016	\$ 0
(5) Sí es causa raíz; La falta de stock de repuestos y herramientas en almacén.	Se le comunicó a Jefatura de mina, el stock de repuestos la cual solicitó al proveedor contar con un stock fijo de repuestos electrónicos según modelo de equipo.	Jefe general	Octubre 2016	\$ 0

Fuente: Elaboración propia, 2016.

C. Implementación de las mejoras de la causa raíz

Después de realizar el análisis de las causas raíces, se procedió a implementar las mejoras por cada una de ellas, de la siguiente manera.

TABLA 26. IMPLEMENTACIÓN DE LAS MEJORAS

Raíces	Implementación de mejoras	Mejora a implementar
Primera causa raíz	Al no figurar en el Dispatch, no optimizó los tiempos, no siguió un adecuado plan de trabajo así como no realizó un buen control en cuanto a este trabajo de investigación.	<ul style="list-style-type: none"> - Se implementó en el Dispatch, los trabajos la inspección, mantenimiento y corrección del sistema eléctrico. - Se elaboró lista de cotejos para labores de mantenimiento eléctrico.
Segunda causa raíz	Al desconocer las mejoras o planes de acción, no lograron los objetivos que se acuerdan en la reunión de performance.	<ul style="list-style-type: none"> - Se designó un responsable tomar acuerdos de performance relacionado que tenga vínculo con el área de la guardia previa coordinación virtual por el correo de la empresa.
Tercera causa raíz	Los trabajos de reparación de la flota de Tractor Oruga Caterpillar® son temporales no garantizan un tiempo adecuado de duración y son parte de las paradas no programadas de los equipos.	<ul style="list-style-type: none"> - Se describió información en las órdenes de trabajo en el sistema SAP, como las inspecciones realizadas por los técnicos electricistas.
Cuarta causa raíz:	No se contó con personal calificado y capacitado para labores de mantenimiento predictivo.	<ul style="list-style-type: none"> -Se propuso la capacitación del personal de mantenimiento para mejorar el desempeño en las tareas relacionadas al sistema eléctrico.
Quinta causa raíz:	La falta de stock de repuestos en almacén, ocasiona que algunos trabajos reprogramados.	Jefatura de mina solicitó al proveedor contar con un stock fijo de repuestos electrónicos según modelo de cada equipo.

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Fase 4: Mejora a partir de Fase Utilizar

Se analizó el proceso de mantenimiento predictivo, se encontró los motivos que afectan, causas que lo ocasionan y sus posibles soluciones como:

Se mejoró el uso de los tiempos de espera que no agregan ningún valor a la actividad de la siguiente manera:

TABLA 27. IMPLEMENTACIÓN DE LA FASE A UTILIZAR.

N°	FASE	Actividades
1	Utilizar	- Se revisó la información enviada al correo relacionada al sistema eléctrico de los reportes.
2	Utilizar	-Preparó las herramientas y accesorios a utilizar para el mantenimiento eléctrico.
3	Utilizar	-Se hizo el requerimiento oportuno de pedido de repuestos a la jefatura mina.

Fuente: Elaboración propia, 2016.



Figura 49. Análisis del proceso de mantenimiento predictivo.
Fuente: Área de Mantenimiento Mina.

Fase 5: Mejora a partir de la Fase Sostener

Este proyecto contó con la participaron y el compromiso de todos los trabajadores involucrados en el área de operaciones del Proyecto Tantahautay. Se contó con el respaldo de las jefaturas, el Jefe de Mina y el Gerente de Operaciones y para mejorar el desempeño de las guardias se trabajó con líneas de supervisión de cada guardia, se efectuó el plan de implementación del proyecto como se especifica a continuación:

A. Plan de implementación del proyecto

El personal técnico del Proyecto Tantahuatay, tiene un horario con régimen de 4 X 4 en turnos de día y noche, el plan de implementación en este proyecto consideró la rápida aplicación de las propuestas como un factor importante para priorizar las oportunidades de mejora a efectuar. Con la finalidad de encontrar soluciones inmediatas se consideró:

- Un plan de comunicación que permitió la integración de todas las áreas de mantenimiento predictivo.
- Aportes de los técnicos de las diferentes guardias de trabajo, en un tiempo de 28 días, como se demuestra en la siguiente tabla:

TABLA 28. PLAN DE IMPLEMENTACIÓN DEL PROCESO DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO.

Área de operaciones	Días	Proyecto Tantahuatay - Setiembre 2016																													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Plan de Implementación	5	■	■	■	■	■																									
Plan de capacitación	7						■	■	■	■	■	■	■																		
Plan de comunicación	11												■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■						
Programa de Implantación	5																								■	■	■	■	■		
Total	28																														

Fuente: Elaboración propia, 2016.

- Esta fase se ejecutó con el compromiso del personal, se procesó la nueva tabla de disponibilidad optimizada lograda después de realizar los planes de implementación trazados en las reuniones de performance (Ver Anexo 5).

TABLA 29. PORCENTAJE DE DISPONIBILIDAD DESPUÉS MANTENIMIENTO PREDICTIVO

MESES	DIAS	HORAS	TOTAL HORAS	H/PARADAS	%/ PARADAS	% DISPONIBILIDAD DESPUÉS
01/06/2016	30	24	720	83.12	11.54	88.46
01/07/2016	31	24	744	89.76	12.06	87.94
01/08/2016	31	24	744	69.7	9.37	90.63
01/09/2016	30	24	720	92.7	12.88	87.13
01/10/2016	31	24	744	88.96	11.96	88.04
01/11/2016	30	24	720	79.84	11.09	88.91
				504.08		88.52

Fuente: Elaboración propia, 2016.

En la Tabla 29. Del porcentaje de disponibilidad después de haber aplicado el mantenimiento predictivo, en la flota de Tractores Oruga Caterpillar® del Proyecto Tantahuatay, se verificó que el total de eventos correctivos es de 504.08 eventos durante el periodo de estudios con un total de 1007.34 horas. (Ver Tabla 34).

Al reducir los eventos correctivos, se incrementó la producción en 03 equipos de la flota de Tractores Oruga Caterpillar® del Proyecto Tantahuatay (Ver Figura 50).

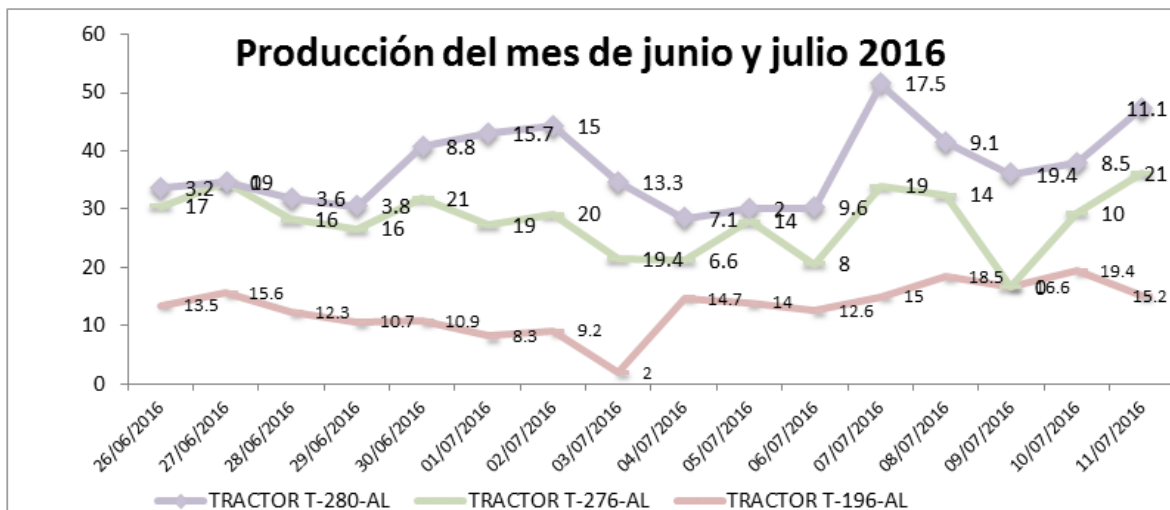


Figura 50. Producción de junio y julio después de aplicar plan de implementación. Fuente: Área operaciones Mina.

En la Figura 50 se aprecia el incremento de la producción promedio en el Tractor Oruga 280 AL, en julio con 17.5 toneladas.

TABLA 30. PRODUCCIÓN MES DE JUNIO Y JULIO 2016.

FAMILIA FECHA	TRACTOR ORUGA		
	T-196-AL	T-276-AL	T-280-AL
26/06/2016	13.5	17	3.2
27/06/2016	15.6	19	0
28/06/2016	12.3	16	3.6
29/06/2016	10.7	16	3.8
30/06/2016	10.9	21	8.8
01/07/2016	8.3	19	15.7
02/07/2016	9.2	20	15
03/07/2016	2	19.4	13.3
04/07/2016	14.7	6.6	7.1
05/07/2016	14	14	2
06/07/2016	12.6	8	9.6
07/07/2016	15	19	17.5
08/07/2016	18.5	14	9.1
09/07/2016	16.6	0	19.4
10/07/2016	19.4	10	8.5
11/07/2016	15.2	21	11.1

Fuente: Área operaciones Mina.

CAPITULO IV: PROCESO DE CONTRASTE DE HIPÓTESIS

4.1. Prueba de hipótesis general

En el presente trabajo de investigación se elaboró la siguiente hipótesis: H:
El uso de la Metodología Lean Belt, influye significativamente en la mejora del mantenimiento predictivo de la Flota de Tractores Oruga Caterpillar® de la Empresa Ferreyros S.A.

Por lo que se acepta la hipótesis general, porque, se mejoró la disponibilidad, se redujo las paradas no programadas, a través del análisis de vibraciones, análisis de aceite y termografía infrarroja.

4.2. Prueba de hipótesis Específicos

Hipótesis Secundarias

En la hipótesis: La disponibilidad se incrementa significativamente al aplicar el mantenimiento predictivo en el Área de Operaciones del Proyecto Tantahuatay.

Se acepta la hipótesis específica, porque al aplicar el mantenimiento predictivo en el Área de Operaciones del Proyecto Tantahuatay. Aumentó la disponibilidad en un 12.3%.

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

La Metodología Lean Belt Influyó notablemente en el mejoramiento del mantenimiento predictivo en la flota de Tractores Oruga Caterpillar® de la Empresa Ferreyros S.A del Proyecto Tantahuatay, disminuyendo el tiempo del total de horas de parada no programados de los equipos, incrementando la productividad de la empresa.

La eficiencia de la Flota de Tractores Oruga Caterpillar® que carecen de mantenimiento predictivo, fue de 76.18% desde el mes de junio, con un total de 1007.34 horas de parada y 358 eventos correctivo en el Área de Operaciones del Proyecto Tantahuatay.

La disponibilidad antes de aplicar mantenimiento predictivo fue de 76.18% y después de aplicar el mantenimiento predictivo fue de 88.52%, siendo la disponibilidad trazada por el Benchmark de la Empresa Ferreyros S.A para Tractores Oruga para el año 2016 de 91.2%, obteniendo un incremento de 12.3%.

El efecto del mantenimiento predictivo utilizando la metodología Lean Belt, generó un beneficio económico para la Empresa Ferreyros S.A. del Proyecto Tantahuatay de \$ 27 230.04.

RECOMENDACIONES

Se recomienda utilizar la Metodología Lean Belten áreas de mantenimiento porque ayudará a disminuyendo el tiempo del total de horas de parada no programados de los equipos, logrando evitar gastos innecesarios por la empresa.

Capacitar constantemente a todo el personal de las diferentes áreas de la Empresa Ferreyros S.A, del Proyecto Tantahuatay, para lograr alcanzar los objetivos propuestos por la empresa.

Aplicar encuestas sobre técnicas de mejora y herramientas de condición al personal de la Empresa Ferreyros S.A, del Proyecto Tantahuatay, con el fin de que conozcan nuevas estrategias que le sirva de apoyo para incrementar su conocimiento en mina.

Al personal técnico electricista que tenga precauciones al realizar análisis de muestras de aceite, cuando el motor está caliente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASME International (2003), Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.147 p.

Barahona C, & Navarro, J. (2013). Mejora del proceso de galvanizado en una empresa manufacturera de alambres de acero aplicando la Metodología Lean Six Sigma.Peru: EDITEC Ltda. 110 p.

Barrantes, J. (2010). Comparación de la productividad del cargador frontal CAT 980 G y la excavadora CAT 345 LB, Utilizando la Metodología Sigma. Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa. 139 p.

Caterpillar (2014). Performance metrics for mobile mining equipment. USA. 159 p.

Caterpillar Inc. Peoria, Illinois USA (2013). Manual de Servicio de tractor de cadenas D10T RSNR7535. [En línea]. Recuperado el 8 de junio del 2013, de <https://sisweb.cat.com>.

Estudio de Impacto Ambiental (EslA). (2008). Compañía Minera Coimolache S.A. Proyecto Tantahuatay. Knight Piésold Consultores S.A. 114 p.

Garcés. G. (2011). Optimización del mantenimiento predictivo en función del costo “en la Empresa Bioalimentar CIA. LTDA”, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Ecuador. 92 p.

Juárez R. (2001). Calidad del Proceso y Análisis de Causa Raíz. (En Línea). Fecha de consulta C/11/07/16. Consultado en: <http://www.causaraíz.com/series.shtml>.

Rivas, M. (2003). Implementación del Mantenimiento Predictivo basado en el análisis de Vibración en la Empresa C.V.G. Ferrominera Orinoco C.A."Universidad de Oriente Núcleo de Anzoátegui. Venezuela.151 p.

Rodríguez, J. (2002). Gestión Moderna del mantenimiento predictivo. 2ª. Ed. Santiago de Chile, Chile: Dpto. Ing. Mecánica. Universidad de Chile. Pág. 255.

Saavedra, P. (2004). "La Evolución y Perspectivas del Mantenimiento Predictivo Proactivo en la Industria." Universidad de Concepción. Facultad de Ingeniería. Concepción, Chile. 89 p.

Sanchez, T. 2007. Tesis. "Aplicación de la Metodología Lean Belt, en la mejora del desempeño en el consumo de combustible de un vehículo en las condiciones de uso del mismo". Mexico. Perú. 129 p.

Trocel, D. (2007). "Mantenimiento y Confiabilidad Industrial" Taller dictado para trabajadores de mantenimiento de la empresa Supermetanol, C.A. y abalado por TECNOTEST. (En Línea). Fecha de consulta 01/07/15. Consultado en: <http://www.mantenimeinto.com/series.shtml>.

Vergara, M. (2013). Optimización del proceso de herramienta de contacto mediante la metodología "Lean Belt" mantenimiento Mina de la Empresa Minera Yanacocha SRL. Cajamarca. 135 p.

Womack, J; Jones, D (2001).LEAN Thinking. Mantenimiento correctivo predictivo. (En Línea). Fecha de consulta 04/04/15. Consultado en:<http://www.minaman.com/series.shtml>.

ANEXOS

ANEXO 1: Matriz de Consistencia

Tabla 31. Mejora del mantenimiento predictivo utilizando la metodología lean Belt en la flota de Tractores Oruga Caterpillar® de la Empresa Ferreyros S.A. En el área de operaciones del Proyecto Tantahuatay.

Problema	Hipótesis	Objetivo	Variables	Definición conceptual	Indicadores	Metodología	Fuente	Técnica	Instrumento
¿Cómo influye el uso de la metodología Lean Belt en la mejora del mantenimiento predictivo en la flota de Tractores Oruga Caterpillar® de la Empresa Ferreyros S.A. en el Área de Operaciones del Proyecto Tantahuatay?	<p>Hipótesis general</p> <p>El uso de la Metodología Lean Belt influye significativamente en la mejora del mantenimiento predictivo de la flota de Tractores Oruga Caterpillar® de la Empresa Ferreyros S.A. en el Área de Operaciones del Proyecto Tantahuatay – Cajamarca 2016</p>	<p>Objetivo general</p> <p>Determinar la influencia del uso de la Metodología Lean Belt en el mejoramiento del mantenimiento predictivo en la flota de Tractores Oruga Caterpillar® de la Empresa Ferreyros S.A. en el área de operaciones del proyecto Tantahuatay – Cajamarca 2016.</p>	<p>V.I: Metodología Lean Belt</p>	<p>Lean es una herramienta de gestión de mejoramiento continuo que disminuye el tiempo entre el momento en el que el cliente realiza una orden hasta que recibe el producto o servicio, eliminando desperdicios que no agregan valor en las operaciones.</p>	<p>-Diagrama de Ishikawa.</p> <p>Técnica 5 “S”</p> <p>- Árbol Lógico de Falla (Análisis Causa Raíz).</p> <p>- Metodología Lean Belt:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fase Enfocar • Fase Operar, • Fase Crear, • Fase Utilizar, • Fase Sostener 	<p>Tipo de Investigación</p> <p>Investigación aplicada- Pre experimental</p> <p>Nivel de Investigación</p> <p>-Descriptiva, comparativa y explicativa</p> <p>Diseño de Investigación</p> <p>-cualitativa</p> <p>Población:</p> <p>- Se consideró como universo a 12 equipos de mantenimiento preventivo, establecidos por todos los Tractores Oruga Caterpillar® de la Empresa Ferreyros S.A durante el año 2016.</p>	Lectura directa	Registro de Lectura	Estudio de campo
	<p>Hipótesis secundaria</p> <p>- La eficiencia se incrementa significativamente al aplicar el mantenimiento predictivo en el Área de Operaciones del Proyecto Tantahuatay – Cajamarca 2016.</p> <p>- La disponibilidad se incrementa significativamente al aplicar el mantenimiento predictivo en el Área de Operaciones del Proyecto Tantahuatay – Cajamarca 2016.</p> <p>- El beneficio económico se incrementa al aplicar el mantenimiento predictivo utilizando la metodología Lean Belt a la Empresa Ferreyros S.A.</p>	<p>Objetivos específicos</p> <p>Determinar la eficiencia de la Flota de Tractores Oruga Caterpillar® que carecen de mantenimiento predictivo de la Empresa Ferreyros S.A. en el Área de Operaciones del Proyecto Tantahuatay – Cajamarca 2016</p> <p>- Determinar el incremento de la disponibilidad al aplicar el mantenimiento predictivo en el Área de Operaciones del Proyecto Tantahuatay – Cajamarca 2016.</p> <p>- Determinar el beneficio económico que genera el efecto del mantenimiento predictivo utilizando la metodología Lean Belt a la Empresa Ferreyros S.A.</p>		<p>V.D: Mantenimiento predictivo</p>	<p>Se basa en el análisis de la condición. Su punto fuerte está en que es capaz de brindar información que permite conocer el estado de un elemento en un momento determinado y cómo ha sido su comportamiento a través del tiempo.</p>	<p>-Disponibilidad</p> <p>-Reducción de paradas innecesarias</p> <p>-Análisis de vibraciones</p> <p>-Análisis de aceite</p> <p>-Termografía infrarroja</p> <p>-Mejora continua.</p>			

Fuente: Elaboración propia-2016.

ANEXO 2: Formulario para muestras de aceite


Con la más avanzada tecnología

MUESTRA DE ACEITE LUBRICANTE			
Nota: Tomar la muestra al aceite caliente	<input checked="" type="checkbox"/>	Componente / Sistema	
	<input type="checkbox"/>	Motor	<input type="checkbox"/> S. Hidráulico
	<input type="checkbox"/>	Compensador	<input type="checkbox"/> Transmisión
	<input type="checkbox"/>	Otros	<input type="checkbox"/>
Cliete: TO-30054_D6T JFWD00319	<input type="checkbox"/>	Fecha	01/06/2016
Proyecto Tantalhuatay		Tiempo/Recorrido de Servicio:	4.996 Km
Lubricante: CASTROL TECTION SAE 15W40CI			
Procedencia: 05-21 TRACTOR ORUGA D6T		Horómetro/Recorrido total	8.881 Km
		Cambio de aceite	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>


Con la más avanzada tecnología

MUESTRA DE ACEITE LUBRICANTE			
Nota: Tomar la muestra al aceite caliente	<input checked="" type="checkbox"/>	Componente / Sistema	
	<input type="checkbox"/>	Motor	<input type="checkbox"/> S. Hidráulico
	<input type="checkbox"/>	Compensador	<input type="checkbox"/> Transmisión
	<input type="checkbox"/>	Otros	<input type="checkbox"/>
Cliete: TO-C1020 D6T S3JC01722	<input type="checkbox"/>	Fecha	01/07/2016
Proyecto Tantalhuatay		Tiempo/Recorrido de Servicio:	4.996 Km
Lubricante: CASTROL TECTION SAE 15W40CI			
Procedencia: 05-21 TRACTOR ORUGA D6T		Horómetro/Recorrido total	15000Km
		Cambio de aceite	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>


Con la más avanzada tecnología

MUESTRA DE ACEITE LUBRICANTE			
Nota: Tomar la muestra al aceite caliente	<input checked="" type="checkbox"/>	Componente / Sistema	
	<input type="checkbox"/>	Motor	<input type="checkbox"/> S. Hidráulico
	<input type="checkbox"/>	Compensador	<input type="checkbox"/> Transmisión
	<input type="checkbox"/>	Otros	<input type="checkbox"/>
Cliete: TO-C1021 D6T S3JC01725	<input type="checkbox"/>	Fecha	01/08/2016
Proyecto Tantalhuatay		Tiempo/Recorrido de Servicio:	5.796 Km
Lubricante: CASTROL TECTION SAE 15W40CI			
Procedencia: 05-21 TRACTOR ORUGA D6T		Horómetro/Recorrido total	20000m
		Cambio de aceite	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>

Figura 51. Formato de muestras de análisis de aceite, 2016.
Fuente: Área de mantenimiento mina, 2016.


ANEXO 3: Registro de muestras de aceite

Tabla 32. Registros de muestras de aceite

MUESTRAS DE ACEITE DE LA FLOTA DE TRACTORES ORUGA PROYECTO TANTAHUATAY - 2016								
Laboratorio numero	681	1445	1451	1457	1459	1472	1488	1489
Nombre del cliente	PROYECTO TANTAHUATAY	PROYECTO TANTAHUATAY	PROYECTO TANTAHUATAY	PROYECTO TANTAHUATAY	PROYECTO TANTAHUATAY	PROYECTO TANTAHUATAY	PROYECTO TANTAHUATAY	PROYECTO TANTAHUATAY
Requerido por	Área de Operaciones Mina	Área de Operaciones Mina	Área de Operaciones Mina	Área de Operaciones Mina	Área de Operaciones Mina	Área de Operaciones Mina	Área de Operaciones Mina	Área de Operaciones Mina
Referencia	MUESTRA #7	MUESTRA # 18	MUESTRA # 18	MUESTRA # 18	MUESTRA # 32	MUESTRA # 40	MUESTRA # 41	MUESTRA # 42
Muestra numero n°	2	13	10	15	18	20	22	23
nombre del producto/	CASTROL TECTION SAE 15W40CI	CASTROL TECTION SAE 15W40CI	CASTROL TECTION SAE 15W40CI	CASTROL TECTION SAE 15W40CI	CASTROL TECTION SAE 15W40CI	CASTROL TECTION SAE 15W40CI	CASTROL TECTION SAE 15W40CI	CASTROL TECTION SAE 15W40CI
muestra - fecha de obtención	01/06/2016	01/07/2016	01/08/2016	01/09/2016	01/10/2016	01/10/2016	01/10/2016	01/10/2016
muestra - fecha de recepción	18/06/2016	19/07/2016	18/08/2016	25/09/2016	15/09/2016	27/09/2016	12/10/2016	21/10/2016
hora de llegada al laboratorio	15:00	09:30	09:30	09:30	09:30	09:30	09:30	09:30
fecha de entrega	18/06/2016	19/07/2016	18/08/2016	25/08/2016	15/09/2016	27/09/2016	12/10/2016	21/10/2016
Procedencia	TRACTOR ORUGA D6T XL	TRACTOR ORUGA D6T XL	TRACTOR ORUGA D6T XL	TRACTOR ORUGA D6T XL	TRACTOR ORUGA D6T XL	TRACTOR ORUGA D6T XL	TRACTOR ORUGA D6T XL	TRACTOR ORUGA D6T
Km total	8881	15000	2000	8861	9761	7996	9741	7741
Km de servicio	4996	6120	5000	5000	5000	5000	5000	5000
Apariencia	amarillo	amarillo	amarillo	amarillo	amarillo	amarillo	amarillo	amarillo
Agua por crepitación	negativo	negativo	negativo	negativo	negativo	negativo	negativo	negativo
Viscosidad a 40° c cts, astm 445	s.d	s.d	s.d	s.d	s.d	s.d	s.d	s.d
Viscosidad a 100° c cts, astm 445	13,63	13,87	14,49	14,49	14,49	14,49	14,49	14,49
Tbn , astm d-2896	9,05	9,11	8,73	8,73	8,73	8,73	8,73	8,73
% Wt insolubles en lubricante por infrarrojo	s.d	s.d	s.d	s.d	s.d	s.d	s.d	s.d
metales de desgaste, ASTM D-6595	s.d	s.d	s.d	s.d	s.d	s.d	s.d	s.d
Molibdeno	0	1	3	1	0	1	2	1
Magnesio	8	4	1	3	5	10	6	4
Boro	1	1	1	1	0	0	0	1
Cromo	1	1	1	0	2	1	2	2
Níquel	1	2	1	1	2	1	2	3
Plata	0	0	1	1	1	0	1	0
Cobre	6	3	3	3	3	2	3	3
Estaño	0	0	1	1	1	0	1	3
Aluminio	3	3	3	3	3	3	3	3
Plomo	3	3	3	3	3	1	3	3
Hierro	9	4	4	2	11	11	12	9
Silicio	16	15	17	12	14	16	16	16
Bario	7	7	3	7	7	0	7	4
Zinc	14	10	5	4	9	4	5	5

Fuente: Elaboración propia -2016.

ANEXO 4: Lista de cotejo


SERVICIO DE MANTENIMIENTO	 <p style="text-align: center;">una empresa Ferreycorp</p>
CENTRO TECNICO	
LISTA DE COTEJO DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO	
AREA DE OPERACIONES PROYECTO TANTAHUATAY	

Nº	PASOS	CUMPLE		OBSERVACIONES
		SI	NO	
1	el computador no tarde su proceso de inicio			
2	verifica que el antivirus se actualice y se chequee automáticamente, activo			
3	verifica que el paquete de office funcione correctamente, activo			
4	verifica que la BIOS esté funcionando correctamente, no tarde en reconocer todos los dispositivos E/S			
5	AMEF (chequeo de programa para evitar problemas antes de que ocurran)			
6	el disco duro está desfragmentado y almacena la información correctamente			
7	el sistema operativo elimina archivos temporales y accesos directos defectuosos y todo aquello que impida su buen funcionamiento			
8	El equipo no produce vibraciones (un componente no esté en su buen uso)			
9	el microprocesador no emite sonidos extraños			
10	los dispositivos manejan el voltaje requerido			

Figura 52. Lista de cotejo Proyecto Tantahuatay

Fuente: Área de mantenimiento mina, 2016.

ANEXO 5: Reunión de performance Tantahuatay

	<p>Timing Supervisión de Flota de Producción Guardias Proyecto Tantahuatay Martes, 27 de agosto de 2016 Meeting Notes</p>			
Mantenimiento	07-jul-2016	FARFAN GARCIA, HAROLD LINCOLN		Iniciar Proyecto
Implementos Motores	07-jul-2016	MEDINA VERA, HEBERT EDUARDO		Iniciar Proyecto
Fugas flota	07-jul-2016	ROJAS LOZADA, FREDDY		Iniciar Proyecto

WHAT	WHO	WHEN	%	COMMENTS
Realizar inspección y conexión de Sistema Eléctrico como parte de la Carta Garantí en BUS. Definir formato de inspección (localic, tipo & clasifica, empalmes de harnesa). PWA tiene el formato y tiempo establecido en el Dispatch	25-jun-16	Johan Vilca Ortega		Cada guardia debe enviar un nombre de responsable
Prueba de conexiones tipo militar	27-jun-16	José Paredes		Johan Vilca. Verificar si CAT tiene esta opción.
Asegurar ajuste de harnesa de inyecciones (uso del logómetro) en las calibraciones de válvulas.	25-may	Jefes Generales		Asegurar con los Supervisores de Líneas que se realice este trabajo. Verificar stock del logómetro .
Evaluar problema de producto en alternadores	06-jun	Christian Dávila Flores		
Asegurar stock de alternadores y amarradores para las diferentes flotas	06-jun	Christian Dávila Flores		
Remitir lista de requeritos en custodia a todo el personal. Incluir documento en el Dispatch .	25-may	Medina vera, Eduardo		
Revisar política de reemplazo de harnesa de componentes como parte de la reparación (Alcán, R) y cortar harnes que están incluidos en la reparación.	03-jun-2016	Rodríguez Acosta, Jaime		De acuerdo a esto se definirá corte de las harnesa y otros componentes eléctricos.
Incluir en la estrategia de 1/2 vida de motor el cambio de aceite de nivel de aceite de motor. Incluir partes en ARL y stock de FSAA.	10-jun-2016	Farián García, Harold Lincoln		Comunicar - Christian Dávila Flores
Asignar a la persona más capacitada en s/c de la guardia a las demás áreas para asegurar el estándar y calidad de trabajo.	25-may-2016	Jefes Generales		Apoyo de los Supervisores de Líneas
Proteger cable de luca de trabajo con manguera / guarda	06-jun-2016	Wilya Reyes Anzujo		Definir cómo, conseguir requeritos y ejecutar en PWA. Supervisores de PWA. Fotos y acciones
Proteger cable de luca de combustible con manguera / guarda	06-jun-2016	Wilya Reyes Anzujo		Definir cómo, conseguir requeritos y ejecutar en PWA. Supervisores de PWA
Configuración nueva del ECM de motor algunas veces no es compatible con el modelo de equipo que se tiene y se debe regresar a la versión anterior. Definir versión que se debe aplicar.	06-jul-2016	Medina vera, Hebert Eduardo		Consulta a CAT
Reunir los filtros de aire primarios y secundarios e instalar tapas del sistema de presurización y proceder a lavar los Pre-cleaner cada PWA	06-jun-2016	Miguel Rodríguez		Obtener requeritos y probar. Modificar Dispatch incluyendo tareas
Revisar proceso de limpieza de filtros de aire. Realizar prueba de performance con filtros nuevos vs reciclados	21-may-2016	Miguel Rodríguez		Realizar pruebas de efectividad entre filtros nuevos o alternativos vs. Filtros reciclados. Asegurar calidad de producto final
Dar Mantenimiento a los indicadores de asunción de los filtros de aire. Asegurar stock para campaña de cambio	25-may-2016	Jefes Generales		Supervisor de líneas debe asegurarse de que se realice.
Instalar filtro de limpieza al ingreso del exhalador de la válvula valvesgate .	27-jun-2016	Miguel Rodríguez		Se encuentra instalado en el TC-DOT, se comará un más para verificar desempeño.
Realizar pruebas con ET del funcionamiento de la valvesgate al ingreso del equipo (Antes de ingreso al lavadero).	06-jun-2016	Jefes Generales		Uso de Residual (Verificar ejecución). Incluir tiempos en Dispatch asociar con planeamiento
Realizar evaluación de cortes de cilindros con evaluación de termocopias al momento de que el equipo ingresa como baseline cuando se detecta diferencia de temperatura de bancos. Verificar procedimiento actual y ajustar a recomendación	10-jun-2016	Carlos Santibañez		Carlos identificar difusión con analistas. Revisión de procedimiento (Luis Castañeda).
Habilitar llave de purgado en el tanque de combustible (Realizar esta tarea en cada ingreso a PM y BL)	TBD	Alan Ravita		Incluir en proceso de reparación
Cambiar operacionales filtros de combustible en los PM en campo (Flota y Perforadora)	25-may-2016	Jefes Generales		
Registro de Gás en SAP (Diagnostico, Causa, Sistema, Conexión)	Permanente	Jefes Generales		Manejar un estándar acerca del registro de órdenes de trabajo en las 4 guardias.
Caberal Doll	07-jul-2016	Luis Silva		Iniciar proyecto
Gerencia OE	07-ago-2016	Miguel Rodríguez		Iniciar Proyecto
Implementos Motores	07-ago-2016	Juan Valera		Iniciar Proyecto

Figura 53. Reunión de performance Tantahuatay

Fuente: Elaboración propia, 2016.

ANEXO6: Disponibilidad de equipos Tantahuatay

DISPONIBILIDAD PARA EQUIPOS	
Proyecto Tantahyatay 2016	
DIA	(Todas) ▼
Familia	(Varios elementos) ⌵
EQUIPO	(Todas) ▼

Datos		
mes/semana ▼	Promedio de %DM	Promedio de %FU
ENERO	83%	68%
FEBRERO	87%	71%
MARZO	84%	68%
ABRIL	85%	69%
MAYO	87%	69%
Total general	85%	69%

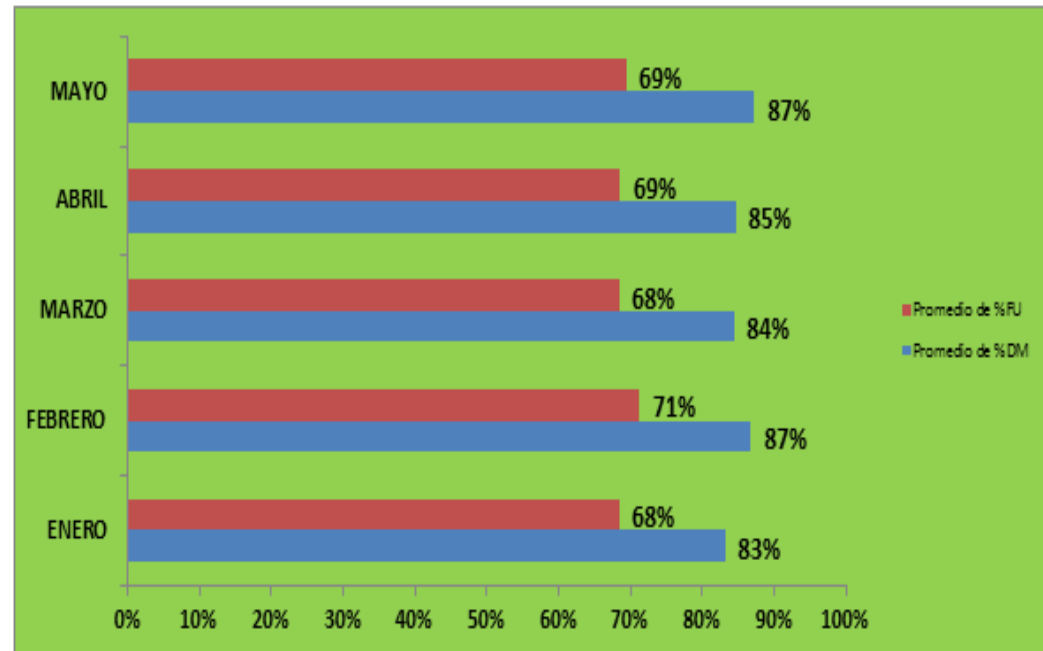


Figura 54. Disponibilidad de equipos Tantahuatay
Fuente: Área de operaciones mina.

ANEXO7: Total de viajes de los equipos Tantahuatay

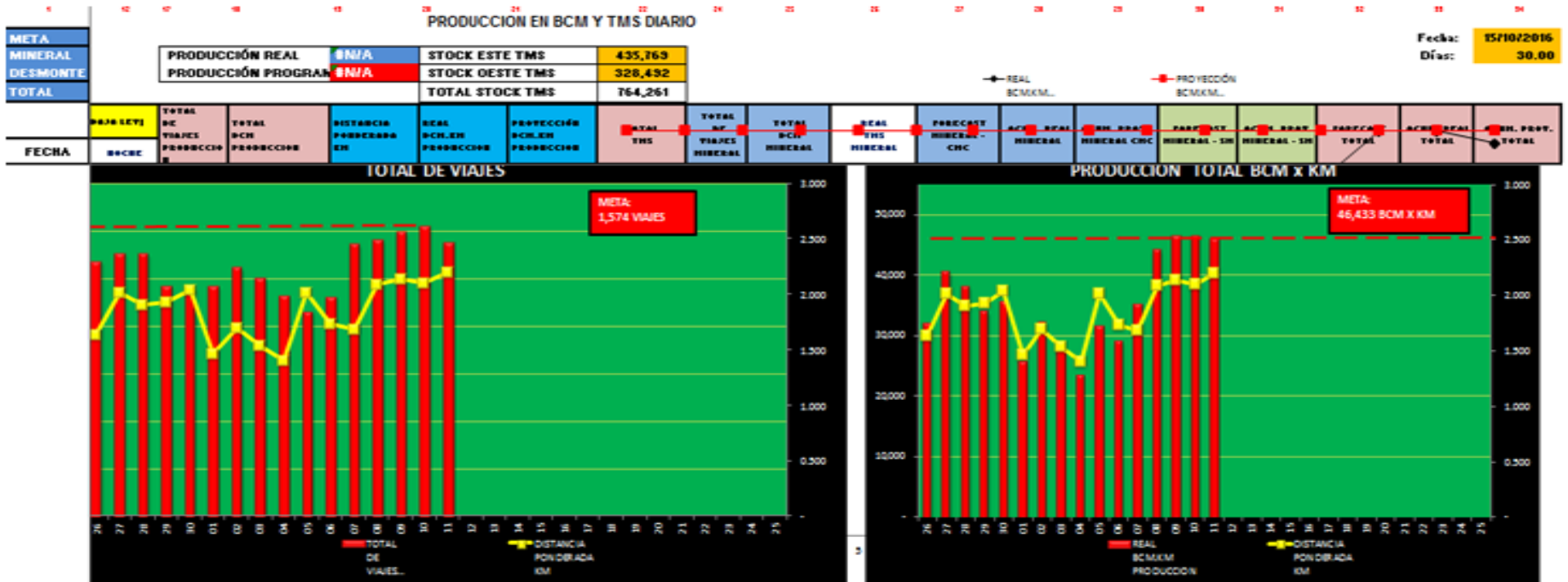


Figura 55. Total de viajes de los equipos Tantahuatay- 2016.
Fuente: Área de operaciones mina.

ANEXO8: Disponibilidad de equipos Tantahuatay



META	BCM x día	TMS x día	BCM x km x día
MINERAL	19,041	48,174	41,890
DESMONTE	3,786	9,578	4,543
TOTAL	22,827	57,752	46,433

Inicio: 26/06/2016

Corte: 15/10/2016

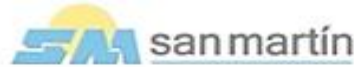
REAL	BCM x día	TMS x día	BCM x km x día
MINERAL	7,645	19,343	14,236
DESMONTE	2,510	6,350	4,674
TOTAL	10,155	25,693	18,910
% Cumplimiento	44.49%	44.49%	40.72%

	BCM x día			TMS x día			BCM x Km x día	DISTANCIA
	MINERAL	DESMONTE	TOTAL	MINERAL	DESMONTE	TOTAL	TOTAL	
26/06/2016	12,093	7,366	19,459	30,595	18,636	49,231	31,913	1.64
27/06/2016	15,689	4,365	20,054	39,693	11,042	50,735	40,508	2.02
28/06/2016	14,790	5,220	20,010	37,419	13,207	50,625	38,019	1.90
29/06/2016	13,935	3,625	17,560	35,254	9,171	44,426	33,890	1.93
30/06/2016	14,065	3,364	17,429	35,584	8,511	44,095	35,555	2.04
01/07/2016	9,425	8,106	17,531	23,845	20,507	44,352	25,595	1.46
02/07/2016	11,354	7,598	18,952	28,724	19,223	47,947	32,218	1.70
03/07/2016	11,426	6,699	18,125	28,908	16,948	45,856	27,913	1.54
04/07/2016	9,730	7,062	16,791	24,616	17,866	42,481	23,507	1.40
05/07/2016	14,138	1,479	15,617	35,768	3,742	39,510	31,545	2.02
06/07/2016	10,455	6,293	16,748	26,450	15,921	42,371	28,973	1.73
07/07/2016	14,109	6,612	20,721	35,695	16,728	52,423	35,018	1.69
08/07/2016	18,357	2,697	21,054	46,443	6,823	53,267	44,003	2.09
09/07/2016	21,692	-	21,692	54,881	-	54,881	46,421	2.14
10/07/2016	19,778	2,320	22,098	50,038	5,870	55,908	46,406	2.10
11/07/2016	18,328	2,494	20,822	46,370	6,310	52,680	45,808	2.20
TOTAL	229,361	75,299	304,660	580,283	190,505	770,789	567,291	
PROMEDIO	7,645	2,510	10,155	19,343	6,350	25,693	18,910	0.99
SEM	17,120	3,403	20,522	43,313	8,609	51,922	41,105	1.99

Figura 56. Plan de Producción Tantahuatay 2016.

Fuente: Área de operaciones mina.

ANEXO9: Disponibilidad de equipos Tantahuatay



Con la sólida experiencia de ICA

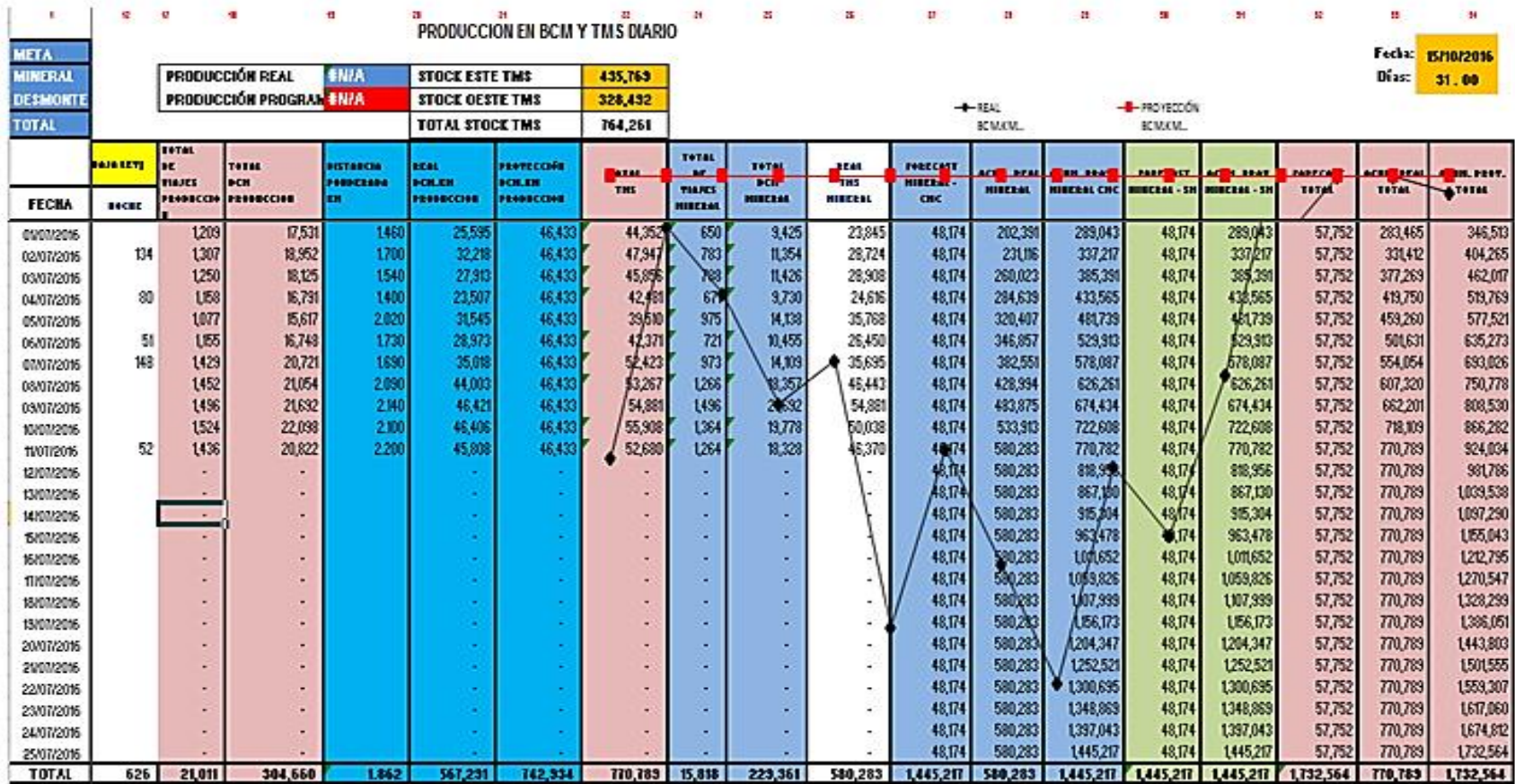


Figura 57. Data de programación de equipos Tantahuatay - 2016
Fuente: Área de operaciones mina.

Anexo 10. Ficha de Evaluación ambiental


 SMCG-MA- FR-001		FICHA DE EVALUACION DE ASPECTOS AMBIENTALES					NUMERO FICHA 006			
GERENCIA/AREA:		INGENIERIA Y PROYECTOS								
PROCESO		TRABAJOS DE MANTENIMIENTO		RESPONSABLE	SUPERVISOR DE MANTENIMIENTO					
N°	ASPECTO AMBIENTAL	CONDICION			IMPACTO	EVALUACION				
		NORMAL	NORMAL	EMERGENCIA		Severidad	Frecuencia	Significancia	Clasificación	
1	Negativos	Consumo de papel	X			Agotamiento del recurso natural	1	1	1	NS
2		Consumo de agua	X			Agotamiento del recurso natural	1	1	1	NS
3		Generación de residuos orgánicos	X			Reducción de la vida útil del relleno sanitario	2	2	3	NS
4		Generación de residuos inorgánicos	X			Reducción de la vida útil del relleno sanitario	2	2	3	NS
			X			Contaminación del suelo	2	2	3	NS
5		Generación de residuos peligrosos	X			Reducción de la vida útil del relleno de seguridad	2	2	3	NS
			X			Contaminación del suelo	2	2	3	NS
6		Generación de residuos metálicos	X			Reducción de la vida útil del relleno sanitario	2	2	3	NS
			X			Contaminación del suelo	2	2	3	NS
7		Consumo de Hidrocarburos	X			Agotamiento del recurso	2	2	3	NS
8	Emisión de gases de combustión	X			Contaminación del aire	1	1	1	NS	
9	Potencial derrame de hidrocarburos		X	X	Contaminación del suelo / Agua	3	2	4	S	
10	Potencial incendio		X	X	Contaminación del suelo	3	1	3	NS	
			X	X	Contaminación del aire	3	1	3	NS	

Figura 58. Ficha de Evaluación Trabajos de mantenimiento.
Fuente: Área de operaciones mina.

ANEXO 11: Top Soil Proyecto Tantahuatay

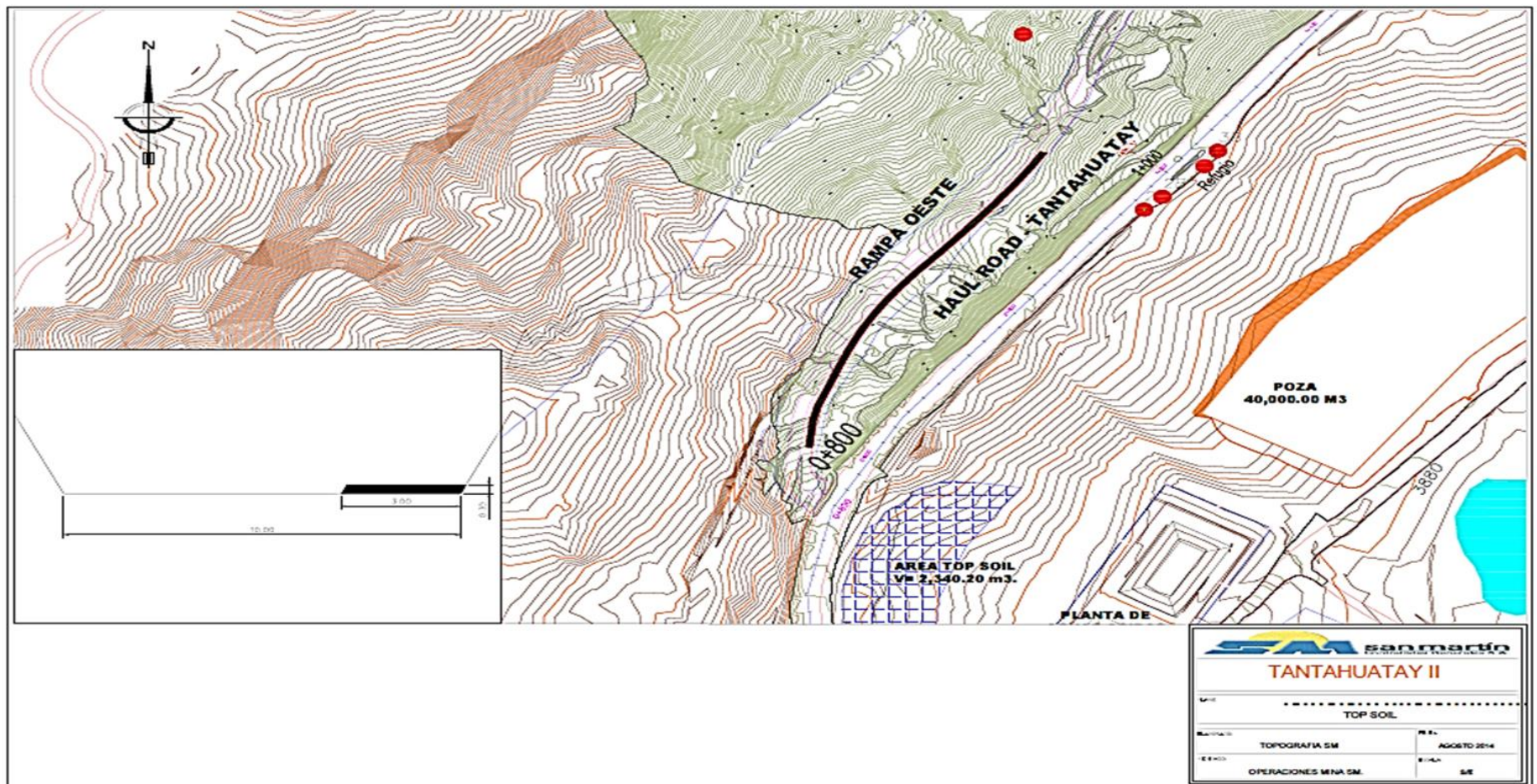


Figura 59. Top Soil Proyecto Tantahuatay
Fuente: Área de operaciones mina.

Anexo 12. Ficha de Evaluación ambiental


 SMCG-MA- FR-001		FICHA DE EVALUACION DE ASPECTOS AMBIENTALES				NUMERO FICHA 007			
GERENCIA/AREA:		MINA							
PROCESO	TRABAJO DE ALMACEN	RESPONSABLE		JEFE DE ALMACEN					
N°	ASPECTO AMBIENTAL	CONDICION			IMPACTO	EVALUACION			
		NORMAL	ANORMAL	EMERGENCIA		Severidad	Frecuencia	Significancia	Clasificación
1	Consumo de papel	X			Agotamiento del recurso natural	1	1	1	NS
2	Generación de residuos orgánicos	X			Reducción de la vida útil del relleno sanitario	2	2	3	NS
		X			Contaminación del suelo	1	1	1	NS
3	Generación de residuos inorgánicos	X			Reducción de la vida útil del relleno sanitario	2	2	3	NS
		X			Contaminación del suelo	2	2	3	NS
4	Generación de residuos peligrosos	X			Reducción de la vida útil del relleno de seguridad	2	2	3	NS
		X			Contaminación del suelo	2	2	3	NS
5	Generación de residuos metálicos	X			Reducción de la vida útil del relleno sanitario	2	2	3	NS
		X			Contaminación del suelo	2	2	3	NS
6	Consumo de Hidrocarburos	X			Agotamiento del recurso natural	2	2	3	NS
7	Potencial derrame de hidrocarburos		X	X	Contaminación del suelo / Agua	3	2	4	S
8	Potencial incendio		X	X	Contaminación del suelo	3	1	3	NS
			X	X	Contaminación del aire	3	1	3	NS

Figura 60. Ficha de Evaluación ambiental

Fuente: Área de operaciones mina.

Anexo 13. Hoja de trabajo de evaluación de riesgos



HOJA DE TRABAJO DE EVALUACION DE RIESGOS FP-COR-04.01-01

Y-03

PROCESO: PRODUCCION DE MINERAL / CARGUIO Y CARRERO

UNIDAD: U.P. TANTARIGATAY

AREA: MINA

ELABORADO POR: Gora Chirano, Manuel Aranda, Raikol Maron, Josef Rivaldi, Christian D'Alto, Wilson Torres, Juan Carlos, Juan Rella, David Guinda

FECHA DE: 01/10/2014

FECHA DE REVISION: 30/06/2014

Sub Proceso	Actividad	Aspecto/Política	Descripción	Impacto/Consecuencia	Riesgo Inicial						Prav.	Nivel de Riesgo	Le- I	Medidor de Control	Riesgo Residual						Gestión de Controlar				
					Severidad (max. razonable)										Prav.	Nivel de Riesgo	Responsable	Fecha de Preparación	Fecha de Ejecución	Eficacia	Revisión				
					SS	DH	PP	MA	RC	RC												SS	DH	PP	MA
minera de Riego y mantenimiento	Traslado de Riego y mantenimiento de la bomba	TE 84: Explota por [chubasco en temporada]	Explota por cada 10 Riego	Muñes, bombas, boinas, conductores	5					3	Medio	Alta	Inspeccionar el estado de las boinas y el estado de las bombas.	3							30/06/2013	30/06/2013	30/06/2014		
				Bombas dañadas por Riego en temporada		3				3	Medio	Alta	Inspeccionar y limpiar las boinas y bombas.		3						30/06/2013	30/06/2013	30/06/2014		
				Fuertes y explosión de las boinas			3			3	Medio	Alta	Inspeccionar y limpiar las boinas y bombas.			3					30/06/2013	30/06/2013	30/06/2014		
		TE 85: Explota con campo [chubasco, explosión, voladura, etc.]	Explota por boinas dañadas	Bombas dañadas, explosiones, muerte por boinas dañadas.	5					3	Medio	Alta	Alta	Inspeccionar y limpiar las boinas y bombas.	3							30/06/2013	30/06/2013	30/06/2014	
		TE 86: Explota con campo [chubasco, explosión, voladura, etc.]	Explota de boinas	Fuertes de Riego			3			3	Medio	Alta	Alta	Inspeccionar y limpiar las boinas y bombas.	3							30/06/2013	30/06/2013	30/06/2014	
		TE 87: Explota con campo [chubasco, explosión, voladura, etc.]	Explota de boinas	Bombas dañadas por voladura	3					3	Medio	Alta	Alta	Inspeccionar y limpiar las boinas y bombas.	3							30/06/2013	30/06/2013	30/06/2014	
		TE 124: Ruido	Explota y ruido por cada 10 en IMP	Explota, explosión de la voladura por cada 10 Riego y mantenimiento.	3					3	Medio	Alta	Alta	Inspeccionar y limpiar las boinas y bombas.	3							30/06/2013	30/06/2013	30/06/2014	
TE 17: Seguridad	Fuertes de Riego en el Riego	Explota, explosión y muerte por cada 10 Riego y mantenimiento.	3					3	Medio	Alta	Alta	Inspeccionar y limpiar las boinas y bombas.	3							30/06/2013	30/06/2013	30/06/2014			
Explota de Bombas	Bombas por boinas	Bombas dañadas por boinas en temporada.						3	Medio	Alta	Alta	Inspeccionar y limpiar las boinas y bombas.	3							30/06/2013	30/06/2013	30/06/2014			
Explota de Pasa de Riego	Fuertes de Riego en el Riego	Bombas dañadas por boinas en temporada.						3	Medio	Alta	Alta	Inspeccionar y limpiar las boinas y bombas.	3							30/06/2013	30/06/2013	30/06/2014			

Figura 61. Hoja de trabajo de evaluación de riesgos.
Fuente: Área de operaciones mina.

Anexo 14. Disponibilidad de la flota



EQUIPO	DIA	HORAS BASE	DISPONIBILIDAD MECANICA			SPONIBILIDAD OPERATIV		FACTOR DE USO		Limite	MES	año
			HORAS REP	HORAS DOP PERF	%DM	HORAS DOP	%DOP	HM	%FU			
RE-20	01-ago	24	-	-	100%	21	88%	19	79%	0.85	8	2016
RE-27	01-jun	24	-	-	100%	21	88%	19	78%	0.85	6	2016
RE-40	01-jun	24	-	-	100%	21	88%	21	88%	0.85	6	2016
V-153	01-feb	24	1	-	96%	20	83%	11	45%	0.85	2	2016
TO-179	01-feb	24	-	-	100%	21	88%	-	0%	0.85	2	2016
V-263	01-jun	24	-	-	100%	21	88%	21	88%	0.85	6	2016
V-264	01-jun	24	1	-	96%	20	83%	20	83%	0.85	6	2016
V-265	01-jun	24	5	-	81%	17	69%	17	69%	0.85	6	2016
V-266	01-jun	24	24	-	0%	-	0%	-	0%	0.85	6	2016
V-267	01-jun	24	-	-	100%	21	88%	21	88%	0.85	6	2016
V-269	01-jun	24	5	-	79%	16	67%	15	63%	0.85	6	2016
V-270	01-jun	24	2	-	94%	20	81%	20	81%	0.85	6	2016
V-271	01-jun	24	-	-	100%	21	88%	21	88%	0.85	6	2016
V-272	01-jun	24	14	-	44%	8	31%	8	31%	0.85	6	2016
V-273	01-jun	24	-	-	100%	21	88%	21	88%	0.85	6	2016
V-274	01-jun	24	3	-	90%	19	77%	16	67%	0.85	6	2016
V-282	01-jun	24	-	-	100%	21	88%	21	86%	0.85	6	2016
V-283	01-jun	24	-	-	100%	21	88%	20	83%	0.85	6	2016
TO-196-AL	01-jun	24	2	-	92%	19	79%	19	79%	0.85	6	2016
TO-280-AL	01-jun	24	2	-	92%	19	79%	19	79%	0.85	6	2016
V-286	01-jun	24	1	-	98%	21	85%	21	85%	0.85	6	2016
V-287	01-jun	24	2	-	92%	19	79%	19	79%	0.85	6	2016

Figura 62. Disponibilidad de equipos Tantahuatay

Fuente: Área de operaciones mina.

Anexo 15. Listado de peligros y aspectos ambientales

LISTADO DE PELIGROS Y ASPECTOS AMBIENTALES

N°	PELIGROS	N°	ASPECTOS AMBIENTALES
1	TC 01: Golpeado contra (corriendo hacia o tropezando con)	1	Consumo de Agua
2	TC 02: Golpeado por (objeto en movimiento)	2	Consumo de Energía eléctrica
3	TC 03: Caída al mismo nivel (resbalar y caer, tropezar y caer, volcarse)	3	Consumo de Hidrocarburos
4	TC 04: Caída a distinto nivel (el cuerpo cae)	4	Consumo de Madera
5	TC 05: Atrapado en (enganchado, colgado)	5	Consumo de Papel
6	TC 06: Atrapado por (puntos filosos o cortantes)	6	Consumo de aire comprimido
7	TC 07: Atrapado / Chancado entre o debajo de objetos (aplastado o amputado)	7	Generación de Agua Ácida o contaminada
8	TC 08: Contacto con energía (eléctrica, neumática, radiación, etc.)	8	Derriame de Sustancias Peligrosas (químicas e hidrocarburos)
9	TC 09: Sobreesfuerzo / Sobretensión muscular	9	Generación y disposición de Desmonte, lodos y lamas
10	TC 10: Gases	10	Generación y disposición de Residuos (papel y cartones, plásticos, vidrios, generales, peligrosos hospitalarios, metálicos, orgánicos, peligrosos reaprovechables, peligrosos no reaprovechables e inflamables)
11	TC 11: Polvo	11	Disposición de mineral
12	TC 12: Ruido	12	Derriame de relaves o soluciones cianuradas
13	TC 13: Temperaturas extremas (calor o frío)	13	Emisión de Fluido
14	TC 14: Explosiones	14	Emisión de vibración
15	TC 15: Materiales peligrosos	15	Emisión de Polvo y/o partículas
16	TC 16: Materiales biológicos	16	Emisión de Calor
17	TC 17: Ergonómicos	17	Emisión de Radiación
18	TC 18: Psicosocial	18	Emisión de Gases, Vapores y/o Humos
		19	Extracción de Mineral
		20	Fuga de Agua y desagüe
		21	Fuga de GLP
		22	Potencial generación y disposición final de hidrocarburos usados y en desuso
		23	Potencial emisión de gases tóxicos
		24	Potencial colapso de presa de relaves
		25	Potencial derriame del agua de la presa de relaves, pulpa o solución cianurada
		26	Potencial derriame de sustancias químicas y/o peligrosas
		27	Potencial derriame de Hidrocarburos en uso, desuso y usados
		28	Potencial derriame de aceites dieléctricos
		29	Potencial derriame de concentrados
		30	Potencial derriame de lodos y/o lamas
		31	Potencial derriame de mineral
		32	Potencial derriame de relaves
		33	Potencial derriame de efluentes líquidos con parámetros que exceden los LMP's
		34	Potencial derriame de cal
		35	Potencial Erosión
		36	Remoción de suelos
		37	Potencial Incendio

Figura 63. Listado de peligros y aspectos ambientales.
Fuente: Área de operaciones mina.

Anexo 16. Volumen chorreado mina Tantahuatay

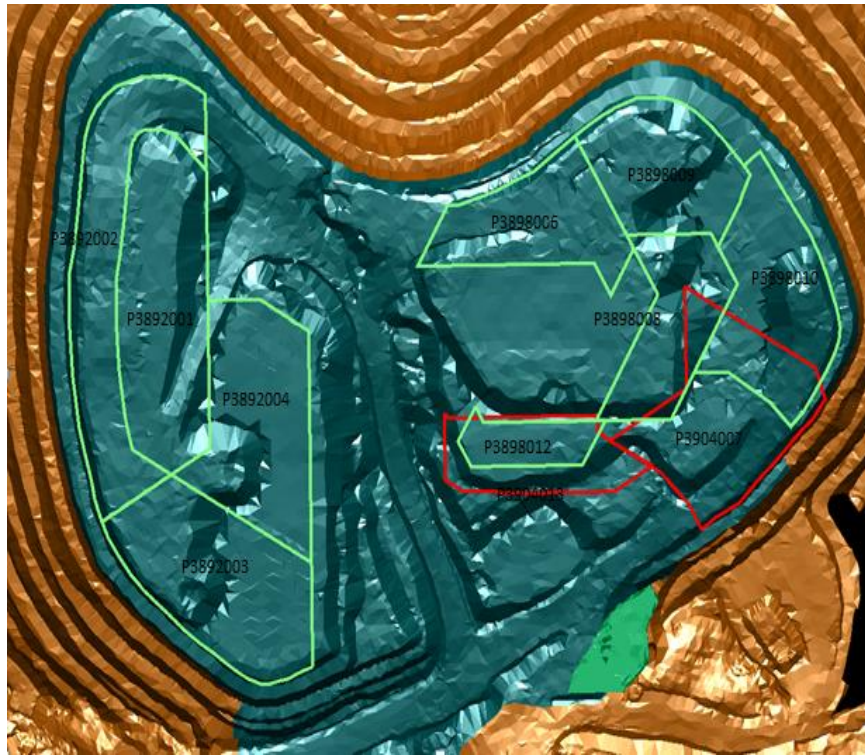


Figura 64. Volumen chorreado mina Tantahuatay
Fuente: Área de operaciones mina.

Anexo 17. Verificación de la Lista de cotejo



Figura 65. Verificación de la Lista de cotejo.
Fuente: Elaboración Propia 2016.