UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN

FACULTAD DE INGENIERÍA ARQUITECTURA Y URBANISMO

ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

INCIDENCIA DE LOS PROCESOS DE REPARACIÓN DE LA FLOTA DE CAMIONES CAT 793 EN LA DISPONIBILIDAD OPERATIVA DE MINERÍA A TAJO ABIERTO EN MINERA YANACOCHA S.R.L CAJAMARCA-2018

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO PROFESIONAL DE BACHILLER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

Autor:
Gorbalan Perez Fernando

Asesor:
Mg. Linares Ortega Paul

Línea de Investigación:
Gestión de Operaciones y Logística

Pimentel – Perú

Año 2018

DEDICATORIA

Con especial cariño para mi familia
razón de mis aventuras y
superaciones.

AGRADECIMIENTOS

Durante el desarrollo de este trabajo de investigación me ha sido de vital importancia el soporte de personas e instituciones que me ha permitido ir perfeccionando su contenido día tras día, así como la validez del mismo al poder recopilar información histórica y valiosa para realizar un análisis más detallado de acorde a la realidad operativa de la flota de camiones de la empresa minera a tajo abierto.

En primer lugar, agradecer al Ing. Vidal Pinto por su valiosa contribución con sus ideas para la propuesta de ejecución de estrategias de mantenimiento orientados al desarrollo del personal el cual he adaptado al desarrollo de este trabajo enfocados principalmente al proceso de ejecución del mantenimiento, del mismo modo al Ing. Alfredo Huarcaya por facilitarme la información del desempeño de los equipos tanto en las horas de reparación como en las causas más frecuentes de estas paradas de esta manera se logró realizar el levantamiento situacional actual del área de mantenimiento mina, al Ing. Luis Silva por su empeño en la capacitación de su personal a cargo para el análisis e interpretación del diagnóstico de las fallas más recurrentes de los equipos.

A Minera Yanacocha S.R.L por ser una empresa líder en la seguridad personal, el cuidado del medio ambiente y la mejora continua de sus procesos, en este caso en el área de mantenimiento mina, de manera especial mi agradecimiento a la Universidad Señor de Sipán por brindarme la oportunidad de cursar esta carrera de Ingeniería Industrial con las facilidades propias que se ajustan a mi desempeño laboral lo que sin duda ha incrementado mis potencialidades profesionales que he ido aplicando progresivamente a lo largo de estos años de estudio y de seguro sentarán las bases para continuar con la investigación en esta especialidad.

INDICE

RESUMEN 1
ABSTRACT 2
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN 3
1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA 3
1.2. TRABAJOS PREVIOS 5
1.2.1. Antecedentes de la Investigación 5
1.3. TEORÍAS RELACIONADAS AL TEMA 11
1.3.1. Bases Teóricos Científicos 11
1.3.2. Definición de Términos Básicos 32
1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 33
1.5. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL ESTUDIO 33
1.5.1. Justificación Metodológica 33
1.5.2. Justificación Práctica 34
1.5.3. Justificación Económica 34
1.5.4. Justificación Académica 34
1.5.5. Importancia 34
1.6. HIPÓTESIS 35
1.7. OBJETIVOS 35
1.7.1. OBJETIVO GENERAL 35
1.7.2. OBJETIVO ESPECÍFICO 35

CAPÍTULO II: MATERIAL Y MÉTODOS 36
2.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN 36
2.1.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN 36
2.1.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN 36
2.2. POBLACIÓN Y MUESTRA 36
2.3. VARIABLES Y OPERACIONALIZACIÓN 37
2.3.1. VARIABLES 37
2.3.2. OPERACIONALIZACIÓN 37
2.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS 39
2.5. PROCEDIMIENTOS DE ANÁLISIS DE DATOS 40
2.6. CRITERIOS ÉTICOS 41

2.7. CRITERIOS DE RIGOR CIENTÍFICO 41

CAPITULO III: RESULTADOS 43
3.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS 43
3.1.1. Resultados de observación del proceso de evaluación y gestión de equipos en falla 43
3.1.2. Resultados de observación de la planificación de equipos en falla.....45
3.1.3. Resultados de observación de repuestos, materiales y herramientas 46
3.1.4. Resultados de observación de los recursos humanos disponibles 48
3.2. DETERMINACIÓN DE LOS TIEMPOS PROMEDIOS DE REPARACIÓN Y LA DISPONIBILIDAD OPERATIVA DE LA FLOTA DE CAMIONES CAT 793 49
3.2.1. Análisis de los tiempos promedios de reparación 50
3.2.2. Análisis de la disponibilidad operativa 53
3.2.3. Correlación entre los tiempos promedios de reparación y la disponibilidad operativa.....56
3.2.4. Desempeño de la productividad de la Flota de Camiones CAT 793....59
3.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS 61

CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....64
4.1. CONCLUSIONES.....64
4.2. RECOMENDACIONES 65

REFERENCIAS 66
ANEXOS 68
1. FORMATO DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN 69
2. INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE REPORTE DE PARADAS DE DISPATCH 70
3. INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE TRABAJOS REALIZADOS – SAP ...71
4. INSTRUMENTO DE GUÍAS DE OBSERVACIÓN DE LA EJECUCIÓN DEL MANTENIMIENTO 72
5. REGISTRO FOTOGRÁFICO DEL PROCESO DE REPARACIÓN POR MANTENIMIENTO NO PROGRAMADO.....74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Curva característica de la Confiabilidad *15*
Figura 2: Modelo de la curva de aprendizaje *16*
Figura 3:Representación Gráfica de las 5's *17*
Figura 4: Símbolos de diagrama de flujo. *18*
Figura 5: Beneficios de la implementación Lean *21*
Figura 6 :Representación Gráfica de las 5's *32*
Figura 7: Mapa de proceso de recolección de datos *40*
Figura 8: Resultado del proceso de evaluación y gestión de los equipos en falla. *44*
Figura 9: Resultado de la observación del proceso de planificación de los equipos en falla *46*
Figura 10: Resultados de la observación del estado de los repuestos, materiales y herramientas *47*
Figura 11: Resultados de las observaciones del Nivel de Competencias de los recursos humanos disponibles *49*
Figura 12: Tendencia del MTTR de la Flota de Camiones 2017 ..... *50*
Figura 13: Tendencia del MTTR por Flota CAT793C y CAT793D *51*
Figura 14: Tendencia de la Disponibilidad Operativa de la Flota de Camiones - 2017 ..... *53*
Figura 15: Tendencia de la disponibilidad Operativa por Flota CAT793C y CAT793D *54*
Figura 16: Gráfica de Correlación de MTTR y Disponibilidad Operativa considerando datos extremos *57*
Figura 17: Gráfica de Correlación de MTTR y Disponibilidad Operativa sin considerar datos extremos *58*
Figura 18: Relación entre la producción de movimiento de tierra y la disponibilidad *59*
Figura 19: Relación entre los costos de producción y la disponibilidad operativa. *60*

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:Origen y evolución de los principios Lean. 24
Tabla 2: Modelo de una Matriz FMECA.....25
Tabla 3: Clasificación de la población en estudio 36
Tabla 4: Tabla de Operacionalización de Variables 38
Tabla 5: Tabla de Criterios de rigor científico 42
Tabla 6: Cuadro resumen del MTTR por Flota durante el 2017.....52
Tabla 7: Cuadro resumen de la Disponibilidad Operativa por Flota durante el 2017 55
Tabla 8: Resultados del MTTR y la Disponibilidad Operativa 56

I. INFORMACIÓN GENERAL

1.1 Título

INCIDENCIA DE LOS PROCESOS DE REPARACIÓN DE LA FLOTA DE CAMIONES CAT 793 EN LA DISPONIBILIDAD OPERATIVA DE MINERÍA A TAJO ABIERTO EN MINERA YANACOCHA S.R.L CAJAMARCA-2018

1.2 Línea de Investigación

Gestión de la Calidad

1.3 Autores

Gorbalán Pérez Fernando

1.4 Asesor Metodológico

MG. LINARES ORTEGA PAUL

1.5 Asesor Especialista

1.6 Tipo y Diseño de Investigación

De acuerdo al fin que se persigue: APLICADA.

De acuerdo a la técnica de contrastación: DESCRIPTIVA

De acuerdo al régimen de investigación: ORIENTADA

De acuerdo a la Intervención del investigador: NO EXPERIMENTAL

1.7 Facultad y Escuela Profesional

Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Urbanismo

Escuela de ingeniería Industrial

1.8 Periodo de Investigación

10 meses

1.9 Fecha de Inicio y Término del Proyecto

Inicio: 04 de Setiembre de 2017 – Fin: 15 Julio 2018

1.10 Presentado por

Gorbalán Pérez Fernando

RESUMEN

El área de mantenimiento cumple una función muy importante como parte de las actividades principales de las empresas del sector minero ya que mediante la gestión efectiva de los equipos que están a su cargo permiten alcanzar altos desempeños de operación dentro del proceso de producción entregando para ello la mayor cantidad de horas operativas disponibles, así como realizando reparaciones con altos estándares de calidad para conservar y/o restaurar las funciones iniciales de los equipos, solo de esta manera se asegura que el proceso de producción sea realizado de forma segura, cuidando el medio ambiente y a costos operativos óptimos.

Como parte del presente trabajo de investigación se han analizado los factores que afectan las reparaciones que desarrolla el área de mantenimiento mina como parte del mantenimiento correctivo, considerando para ello los procesos de evaluación y gestión de los equipos en falla, el proceso de planificación, las facilidades para realizar los trabajos de mantenimiento así como el análisis de los recursos humanos disponibles considerando las habilidades teóricas como prácticas; de esta manera se han identificado los aspectos que deben ser fortalecidos para lograr que los trabajos de reparación sean realizados con calidad evitando que se incrementen los tiempos promedios de reparación los cuales fueron calculados en 3.13 horas / reparación de toda la flota de camiones CAT 793 de la empresa minera.

Se ha analizado además que cada hora de reparación significa disminuir la disponibilidad operativa en 0.01762, para ello el análisis muestra una correlación con pendiente negativa con una confiabilidad del 21.7%. Teniendo en cuenta que una reducción en la disponibilidad reduce las horas de operación de los equipos y por ende una disminución de la producción es fundamental mejorar los tiempos promedios de reparación asegurando la calidad de los mismos.

Palabras clave: Mantenimiento, Correctivo, Reparación, Disponibilidad, MTTR, Estrategias

ABSTRACT

The maintenance area plays a very important role as part of the main activities of the companies in the mining sector, since through the effective management of the equipment they are in charge of, they allow to achieve high operating performance within the production process by delivering the more operational hours available, as well as making repairs with high quality standards to conserve and / or restore the initial functions of the equipment, only in this way ensures that the production process is carried out safely, taking care of the environment and optimal operating costs.

As part of this research work we have analyzed the factors that affect the repairs that the mine maintenance area develops as part of the corrective maintenance, considering the processes of evaluation and management of the faulty equipment, the planning process, the facilities for carrying out maintenance work as well as the analysis of available human resources considering the theoretical skills as practices; In this way, the aspects that must be strengthened have been identified to ensure that the repair work is carried out with quality, avoiding an increase in average repair times, which were calculated at 3.13 hours / repair of the entire CAT 793 truck fleet of the mining company.

It has also been analyzed that each hour of repair means to decrease the operative availability in 0.01762, for this the analysis shows a correlation with a negative slope with a reliability of 21.7%. Bearing in mind that a reduction in availability reduces the hours of operation of the equipment and therefore a decrease in production, it is essential to improve the average repair times by ensuring the quality of the same.

Keywords: Maintenance, Corrective*, Reparation, Availability, MTTR, Strategies*

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática

Las empresas del sector minero en el Perú están inmersas dentro del proceso de globalización y por ello necesitan obligatoriamente ser competitivas para poder mantenerse en el mercado durante el mayor tiempo posible con márgenes de utilidad razonables que les permitan amortiguar las variaciones de los precios de los minerales cuyo promedio aproximado se estima en 4.5% de rentabilidad sobre las ventas netas (Ranking América Economía, 2013); para obtener la competitividad deseada es necesario enfocarse en el control de los procesos de operación y producción asegurando la calidad de los mismos mediante actividades realizadas por el personal involucrado, el soporte de la tecnología, la adecuación de instalaciones y herramientas así como métodos y procedimientos estandarizados logrando mediante ello los objetivos organizacionales.

Es a partir de ello que la actividad del mantenimiento de los equipos se convierte en un elemento clave debido a que se debe asegurar el cumplimiento de la disponibilidad operativa presupuestada por el área de operaciones cumpliendo con ello con el plan de minado mensual y anual.

A nivel Internacional:

En el ámbito internacional el impacto por tener una disponibilidad operativa elevada representa una gran ventaja competitiva, por ejemplo, en la unidad minera de Zaldívar en Antofagasta, Chile en el año 2014 logró producir 222 millones de libras de oro debido principalmente a tasas más altas de explotación y mayor disponibilidad de los equipos. Así mismo la operación minera Cadia Hill ubicado en Orange, Australia, gracias a la alta disponibilidad de su planta de procesos durante el 2014 ha logrado obtener 300 000 onzas de oro y 23 000 toneladas de cobre.

Rivera (2015) en su Modelo de toma de decisiones de Mantenimiento para evaluar Impactos en disponibilidad, mantenibilidad, confiabilidad y costos en una mina de Chile, encuentra que en el mantenimiento productivo de una mina por la misma presión que se genera por mantener los equipos operativos para producir en ambos turnos de trabajo era más fácil, rápido y muy efectivo cambiar repuestos cuando se presentaba una falla , en vez de evaluar el motivo de la falla y por consiguiente efectuar una mejora .Esto se debe a que se mantiene más tiempo los equipos en productividad ya que se veía reflejado en un aumento de movimiento de mineral que en su momento por un alto valor en el mercado puede solventar estos gastos, dejando de lado una correcta reparación y calidad en el mantenimiento preventivo como una buena confiabilidad y disponibilidad.

Rodríguez (2013) de Weir Minerals Europe en estrategias de Mantenimiento y reparación de los equipos utilizados en minería en España explica que los equipos utilizados para esta actividad sufren un fuerte desgaste por lo que indica la importancia de una buena gestión para reparar y dar mantenimiento a los equipos y así evitar un excesivo tiempo de parada sin operatividad .El tiempo improductivo de un equipo va a depender de que tan rápido y que calificado sea el personal de mantenimiento como también el tipo de reparación y de la disponibilidad de repuestos.

A nivel Nacional:

En el Perú las empresas mineras también realizan proyectos de mejora como la implementación del TPM para lograr incrementar la disponibilidad de sus equipos es así como en la operación minera Iscaycruz ubicado en el departamento de Lima a partir del 2004 lleva a cabo la implementación del proyecto del Mantenimiento Productivo Total cuya finalidad era la de incrementar la productividad a partir de la identificación de planes de mejora continua y de los estándares de sus indicadores conservando condiciones de seguridad y ambiente de trabajo (Seguridad Minera, 2013). Para ello comienzan con establecer metas de producción en base a los indicadores de disponibilidad inherentes a los sistemas productivos identificados

durante el proceso de producción del mineral como son: Perforación (jumbos), limpieza (scoops), transporte (dumpers) y extracción (locomotoras).

A nivel Regional:

Del mismo modo en la ciudad de Cajamarca las empresas mineras que operan necesitan de mayor tiempo disponible de sus equipos en operación como por ejemplo en la operación Minera Goldfields se han implementado sistemas de monitoreo en línea para incrementar el rendimiento de los equipos mediante la disponibilidad pasando de un 70.5% a un 82%.

En la empresa minera Yanacocha también se realizan denodados esfuerzos para alcanzar y superar el presupuesto de la disponibilidad estimada a costos razonables para mejorar la producción de onzas de oro, sin embargo, diversos factores mantienen la disponibilidad por debajo del presupuesto de 87.5% impactando negativamente en el objetivo de la empresa.

Esta disponibilidad operativa, y por ende las horas de operación de los equipos, se ve afectada por las paradas no programadas producto de diversos factores asociados a la baja calidad de reparaciones, problemas de producto o diseño, falta de estrategias efectivas de mantenimiento, exigencias operacionales por encima del diseño e incorrecta aplicación de los equipos.
Uno de los indicadores claves para realizar el seguimiento y control de esta disponibilidad operativa es el tiempo promedio de reparación (MTTR) el cual debería estar entre 3 y 6 horas/reparación (Performance metrics for mobile mining equipment, Caterpillar)

1.2. Trabajos Previos

1.2.1. Antecedentes de la Investigación

1.2.1.1. Antecedentes Internacionales

Garcés. (2011). En la ciudad de Riobamba, Ecuador en su tesis Optimización del Mantenimiento Preventivo en función del costo en la empresa Bioalimentar CIA.LTDA tiene como objetivo el de disminuir los costos totales de mantenimiento debido a que la mayoría de las actividades se realizaban de manera correctiva implementándose para ello herramientas de gestión que ayudaron a optimizar el Plan de Mantenimiento lográndose reducir los costos en 7.3% durante los años 2009-2010 y aumentado la disponibilidad en 2%.

La relevancia de esta investigación permitirá identificar los factores que permitieron aumentar la disponibilidad del 2% centrándose principalmente en el control de las actividades correctivas de los equipos por falta de capacitación en los trabajadores y deficiencias logísticas.

Mejía. (2014). En la ciudad de Medellín, Colombia en su tesis Optimización de la Programación del Mantenimiento de activos de Transmisión de Energía en Ambientes Altamente Restrictivos y Mercado Regulado el cual tiene como objetivo proponer un nuevo enfoque en la programación del mantenimiento preventivo, correctivo y proactivo mediante el modelamiento matemático de las variables que restringen la libre intervención de los equipos mediante el cual se resuelven problemas de la programación del mantenimiento de dos subestaciones al implementarse estrategias dirigidas hacia la ejecución de órdenes de trabajo pendientes.

La relevancia de esta investigación aportará con información relevante de las variables que restringen la libre intervención de los activos para el mantenimiento y su grado de influencia, así como de las técnicas matemáticas para la formulación de los problemas de optimización relacionadas a los tiempos de parada promedio de los equipos por reparación.

Figueroa. (2015). En la ciudad de Santiago de Chile, en su tesis Definición del Plan de Mantenimiento Óptimo para Equipos Críticos de una Planta de Laminación. El objetivo general de esta investigación fue definir el plan de mantención óptimo para los equipos críticos de una planta de laminación de metales, llegando a la conclusión que al estudiar el ahorro en concepto de costos de mantenimiento para los equipos críticos estudiados es posible concluir que es conveniente y recomendable la aplicación del plan de mantenimiento propuesto. De hecho, considerado el costo total de mantenimiento para los 6 equipos críticos analizados se tiene un ahorro aproximado de 25%.

La relevancia con respecto a este estudio nos ayuda a considerar la importancia de la realización de un Plan de Mantenimiento a los activos de una organización, lo cual se ve reflejado en la disminución de sus costos de mantenimiento, aspecto importante y relevante para poder encaminar el proyecto de investigación en curso.

1.2.1.2. Antecedentes Nacionales

Jáuregui (2009) en la ciudad de Lima, Perú en su tesis Reducción de los Costos Operativos en Mina, mediante la optimización de los estándares de las operaciones unitarias de perforación y voladura cuyo objetivo es el de reducir los costos operativos en una empresa minera aplicando para ello estándares óptimos de trabajo en las principales operaciones unitarias de minado, logrando con ello la reducción de los costos directos operativos en todos los niveles de producción hasta de un 6.7%. al pasar de $ 22.7M a $ 21.15M

La relevancia de este trabajo de investigación permite conocer a mayor detalle el proceso productivo de la extracción de mineral desde la perforación has su acarreo y disposición final en los pads de almacenamiento evaluando todos aquellos costos que se incurren a lo largo de este proceso y de cómo el incremento en la disponibilidad de

los camiones mineros CAT 793 pueden reducir también estos costos operativos por generar menores tiempos muertos.

Albán (2017) en la ciudad de Chiclayo, en su tesis Implementación de un Plan de Mantenimiento Preventivo Centrado en la Confiabilidad de las Maquinarias en la Empresa Construcción Reyes S.R.L. para incrementar la productividad, en la parte de resumen referencia que se elaboraron programas de mantenimiento preventivo para las maquinas que intervienen en el proceso de fabricación, para luego implementarlas, tal suceso dio lugar a que los minutos de paradas se reduzcan en un 97.81%, las frecuencias de fallas en un 81.43%, los costos de falla mecánica en un 75.14%, la producción en total aumentó a 7153 productos, los ingresos aumentaron a S/. 699 401, el dinero no percibido se redujo a S/. 48 803,21. Continuamente se evaluaron los indicadores de productividad después de la implementación del plan, dando lugar a que la productividad de horas trabajadas incremente en 0,0027, la de insumos en 0,76, la de materia prima en 0,145. Finalmente se elaboró un análisis costo-beneficio del plan, que dio como resultado que por cada sol invertido la empresa obtendría 0,76 céntimos de ganancia.

La relevancia con relación a este estudio podemos notar que al elaborar un Plan de Mantenimiento Preventivo para la empresa se logra reducir la frecuencia de fallas la cual se verán reflejadas de una manera directa en los incrementos de ganancia para la empresa, dando mostrar así la importancia de hoy en día en las empresas o instituciones cuenten con un plan de Mantenimiento Preventivo.

Márquez, R. (2016) en la ciudad de Lima, en su investigación presento la Mejora de los Procedimientos del Mantenimiento Preventivo para Reducción del Costo de Intervención en Grúas y Descortezadoras, el parte de su resumen se refiere que el trabajo de investigación desarrolla una propuesta en el planteamiento de nuevos procedimientos para el

mantenimiento preventivo en grúas y descortezadora, con el objetivo de reducir los costos de intervención en una planta de electrolisis en la ciudad de Lima. Para determinar el problema general se utilizó el diagrama de Ishikawa identificando las posibles causas relacionados al problema del alto costo de intervención en grúas y descortezadoras así mismo con el diagrama de Pareto se determinó la propuesta de solución. Para el desarrollo del nuevo procedimiento de mantenimiento preventivo se recolecto información con los técnicos de mantenimiento, el cual facilitaron sus observaciones y mejoras en las actividades de mantenimiento en las grúas y descortezadoras, de esta manera se podrá alcanzar una mayor calidad en el servicio de mantenimiento preventivo realizado por la actual sub contrata. El planteamiento de nuevo procedimiento se basa el método del PEVA (Planificar, Ejecutar, Verificar, Actuar) el cual uno de sus principios es la mejora continua de los procesos.

La relevancia de este estudio permitirá adaptar una propuesta del Plan de Mantenimiento Preventivo las actividades mediante la metodología PDCA (Planificación, Ejecutar, Verificar Y Actuar) soportado con herramientas de calidad como son el diagrama causa – efecto y el diagrama de Pareto. Del mismo modo al considerar la importancia de los estándares de calidad del mantenimiento preventivo la cual ayuda a lograr una mayor disponibilidad en la operación de las máquinas, siendo este uno de los objetivos primordiales de nuestro estudio el cual se obtendrá mediante la reducción de los tiempos promedios de reparación.

1.2.1.3. Antecedentes Locales

Rodríguez, M. (2012) en la ciudad de Cajamarca en su investigación de Propuesta de Mejora de la Gestión de Mantenimiento Basado en la Mantenibilidad de Equipos de Acarreo de una Empresa Minera en Cajamarca el cual tiene como objetivo mejorar la gestión del mantenimiento basado en la mantenibilidad de los equipos de acarreo logrando incrementar la disponibilidad mecánica de dichos equipos

traduciéndose al final con un VAN de $ 15 402 040.02 alcanzando una disponibilidad operativa del 87% y un MTTR de 5.3 horas/reparación.

La relevancia de este trabajo de investigación permitirá considerar la mantenibilidad como elemento clave de la mejora en disponibilidad y reducción de los costos. Considerando además que el MTTR es un parámetro de la mantenibilidad sentará una referencia acerca del comportamiento de los equipos de acarreo donde se han realizado procedimientos de diagnóstico del proceso, así como un análisis FODA del área de mantenimiento.

Huamán, W. (2015) en su tesis de investigación denominado "Estudio comparativo entre el sistema Minestar Health y el sistema convencional en el control de camiones mineros en Minera Gold Fields La Cima, Cajamarca – 2015", tiene como objetivo principal el de analizar comparativamente el sistema Minestar Health y el sistema convencional de asignación y despacho de los equipos a los frentes de trabajo con la finalidad de evaluar su viabilidad para reducir los costos de acarreo de los camiones mineros en dicha operación minera logrando con ello obtener en tiempo real datos de producción como toneladas movidas, velocidad y proyección de la producción a fin de cada turno, además de ello lograr monitorea las variables de operación del equipo para advertir de fallas en progreso. Mediante esta propuesta y posterior implementación se logró reducir en un 15% el costo de transporte del mineral, así como una mejor confiabilidad de los datos obtenidos en línea para un mejor análisis.

La relevancia de este estudio de investigación permitirá plantear nuevas alternativas de diagnóstico de fallas en los equipos de acarreo de la operación minera en estudio logrando con ello reducir los tiempos de reparación por tener un diagnóstico más acertado y en línea.

Huamán, G. (2011) en su trabajo de investigación denominado "Propuesta de un Plan de Mejora en el Proceso de Mantenimiento de la Flota de Camiones CAT 793 para Aumentar el Intervalo de Tiempo de la Primera Parada después del Mantenimiento Preventivo" tiene como objetivo el de aumentar el tiempo promedio de parada luego de un servicio de mantenimiento mediante el análisis de las principales causas que afectan el normal funcionamiento de los equipos utilizando para ello el análisis de la matriz de modos y efectos de falla para cada sistema crítico como son el Motor, Transmisión, Diferencial y Chasis, logrando con ello incrementar en un 38% el tiempo de funcionamiento hasta su primera parada hasta llegar a 41.4 Horas, además se obtiene una disponibilidad del 0.31% el cual representa en términos económico un valor de $ 490 999.00

La relevancia de este trabajo de investigación permitirá tomar como referencia al análisis realizado mediante la matriz FMECA (Análisis de Modos, Efectos y Fallas Críticos) así como las causas de las fallas más comunes en los sistemas de los equipos de acarreo como son la pérdida de potencia, falla de neumáticos por altas horas de operación, fugas en el sistema de enfriamiento y fisuras en los chasis por eventos de sobrecarga.

1.3. Teorías Relacionadas al Tema

1.3.1. Bases Teóricos Científicos

Disponibilidad

Benedetti. (2004). Menciona que la disponibilidad es una función que permite estimar en forma global el porcentaje de tiempo total que se puede esperar que un equipo esté disponible para cumplir la función principal para el cual fue destinado. A través del estudio de los factores que influyen sobre la disponibilidad, el tiempo promedio entre falla (MTBF) y el tiempo promedio para reparar (MTTR) a través de estos indicadores es posible para la alta gerencia evaluar las distintas alternativas de acción, para conseguir aumentar de forma rentable la disponibilidad de sus sistemas productivos.

Disponibilidad Operativa (A)

Moreno. (2016) indica que la disponibilidad operativa de un equipo o sistema es una medida que nos indica cuanto tiempo está funcionando el equipo o sistema operativo, respecto de la duración total durante un periodo en el que se desee que funcione, típicamente se expresa en porcentajes según, dicha disponibilidad se calcula a través de la siguiente formula:

$$A = \frac{HL - PP - PR}{HL}$$

Donde:

HL = Horas laborables o presupuestadas de la empresa.

PP = Paradas programadas para mantenimientos programados de cualquier tipo.

PR = Paradas no programadas por mantenimiento correctivo.

Tiempo Promedio para Reparar (MTTR)

Según García (2012), es la medida de la distribución de los tiempos de reparación del equipo o del sistema. Este indicador mide la efectividad en restituir la unidad en condiciones óptimas de operación una vez que la unidad se encuentra fuera de servicio por falla, dentro de un periodo de tiempo determinado. De igual manera Zegarra (2016), describe que es un indicador el cual muestra el tiempo promedio que demora las reparaciones o intervenciones a la máquina por motivo mecánico, es decir es el tiempo que se encuentra bajo el estado de reparación (inoperativa para el trabajo), el MTTR para un determinado periodo se calcula dividiendo las horas totales usadas en reparación en determinado periodo, entre el número de paradas que la máquina que tuvo por motivos mecánicos en dicho periodo, se representa a través de la formula.

MTTR= (Tiempo total de reparaciones correctivas) / (N° de paradas correctivas)

Camión Minero CAT 793

Es un vehículo motorizado de acarreo de material suelto de 240 TM que transporta material de la zona de voladura hasta los tajos de almacenamiento con una velocidad máxima de desplazamiento de 60 Km/hora

Cambio Rápido de Herramientas SMED

Hernández y Vizán (2013, p.36), mencionan lo siguiente:

SMED por sus siglas en inglés (Single-Minute Exchange of Dies), es una metodología o conjunto de técnicas que persiguen la reducción de los tiempos de preparación de máquina. Esta se logra estudiando detalladamente el proceso e incorporando cambios radicales en la máquina, utillaje, herramientas e incluso el propio producto, que disminuyan tiempos de preparación. Estos cambios implican la eliminación de ajustes y estandarización de operaciones a través de la instalación de nuevos mecanismos de alimentación, retirada, ajuste, centrado rápido como plantillas y anclajes funcionales.

Para llevar a cabo una acción SMED, las empresas deben acometer estudios de tiempos y movimientos relacionados específicamente con las actividades de preparación. Estos estudios suelen encuadrarse en cuatro fases bien diferenciadas:

A.- Fase 1: Diferenciación de la preparación externa y la interna. Por preparación interna, se entienden todas aquellas actividades que para poder efectuarlas requiere que la máquina se detenga. En tanto que la preparación externa se refiere a las actividades que pueden llevarse

a cabo mientras la máquina funciona. El principal objetivo de esta fase es separar la preparación interna de la preparación externa, y convertir cuanto sea posible de la preparación interna en preparación externa.

B.- Fase 2: Reducir el tiempo de preparación interna mediante la mejora de las operaciones. Las preparaciones internas que no puedan convertirse en externas deben ser objeto de mejora y control continuo.

C.- Fase 3: Reducir el tiempo de preparación interna mediante la mejora del equipo. Todas las medidas tomadas a los efectos de reducir los tiempos de preparación se han referido hasta ahora a las operaciones o actividades.

D.- Fase 4: Preparación Cero. El tiempo ideal de preparación es cero por lo que el objetivo final debe ser plantearse la utilización de tecnologías adecuadas y el diseño de dispositivos flexibles para productos pertenecientes a la misma familia. Los beneficios de la aplicación de las técnicas SMED se traducen en una mayor capacidad de respuesta rápida a los cambios en la demanda (mayor flexibilidad de la línea), permitiendo la aplicación posterior de los principios y técnicas Lean como el flujo pieza a pieza, la producción mezclada o la producción nivelada.

Confiabilidad

Torres, L. (2016). Indica los siguiente: Para poder conocer la confiabilidad de una pieza o instalación, es necesario definir perfectamente la falla que estamos evaluando y controlar las condiciones de trabajo en las que se desarrolla el ensayo. Debemos establecer también el intervalo de tiempo

que puede ser expresado en número de ciclos u operaciones que efectúa el sistema, finamente es conveniente contar con un modelo matemático para poder analizarla.

El más común es aquel que se representa mediante una distribución exponencial.

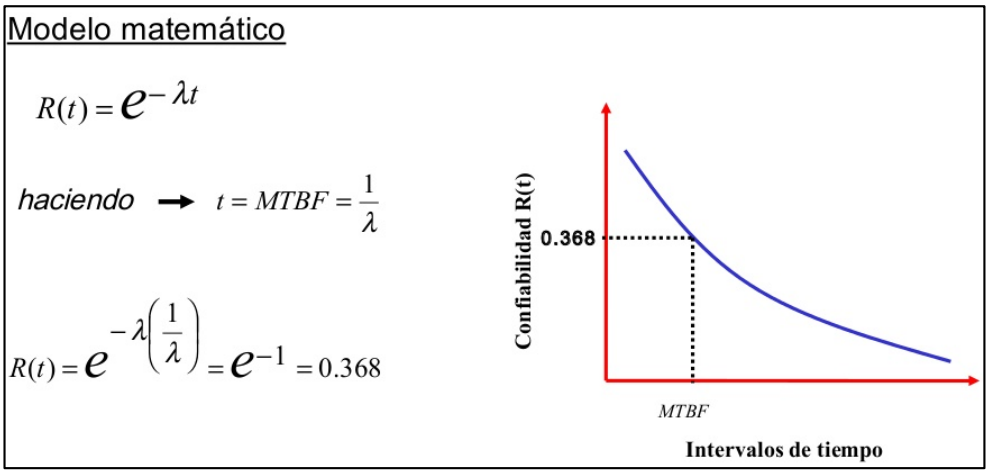


Figura 1: Curva característica de la Confiabilidad

Curva de Aprendizaje

Wikipedia (2017). Una curva de aprendizaje describe el grado de éxito obtenido durante el aprendizaje en el transcurso del tiempo. Es un diagrama en que el eje horizontal representa el tiempo transcurrido y el eje vertical el número de éxitos alcanzados en ese tiempo

Mientras más empinada sea la curva, mayor es la eficiencia del aprendizaje. La inclinación de la curva depende de varios factores que se contrapesan:

- Conocimiento del tema, habilidad, capacidad y talento
- Método de enseñanza, didáctica, y método de aprendizaje
- Contexto del aprendizaje (armonía entre el método, el lugar de enseñanza y la personalidad del maestro, etc.)
- Contexto temático y sucesión didáctica.

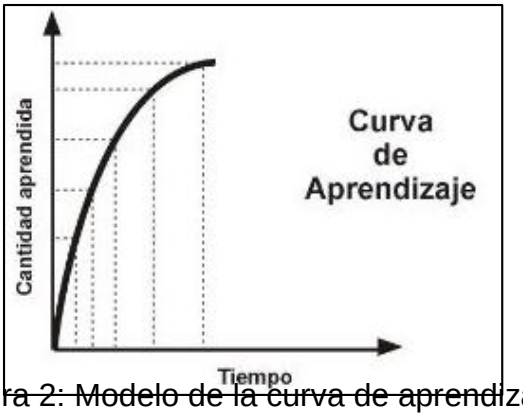


Figura 2: Modelo de la curva de aprendizaje

Herramienta - 5s

Hernández y Vizán (2013, p.36), mencionan lo siguiente:

La herramienta 5S se corresponde con la aplicación sistemática de los principios de orden y limpieza en el puesto de trabajo que, de una manera menos formal y metodológica, ya existían dentro de los conceptos clásicos de organización de los medios de producción. El acrónimo corresponde a las iniciales en japonés de las cinco palabras que definen las herramientas y cuya fonética empieza por “S”: Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu y Shitsuke, que significan, respectivamente: eliminar lo innecesario, ordenar, limpiar e inspeccionar, estandarizar y crear hábito.

Los principios 5S son fáciles de entender y su puesta en marcha no requiere ni un conocimiento particular ni grandes inversiones financieras. Sin embargo, detrás de esta aparente simplicidad, se esconde una herramienta potente y multifuncional a la que pocas empresas le han conseguido sacar todo el beneficio posible. Su implantación tiene por objetivo evitar que se presenten los siguientes síntomas disfuncionales en la empresa y que afectan, decisivamente, a la eficiencia de la misma:

• Aspecto sucio de la planta: máquinas, instalaciones, técnicas, etc.

• Desorden: pasillos ocupados, técnicas sueltas, embalajes, etc.

• Elementos rotos: mobiliario, cristales, señales, topes, indicadores, etc.

• Falta de instrucciones sencillas de operación.

• Número de averías más frecuentes de lo normal.

• Desinterés de los empleados por su área de trabajo.

• Movimientos y recorridos innecesarios de personas, materiales y utillajes.

• Falta de espacio en general.

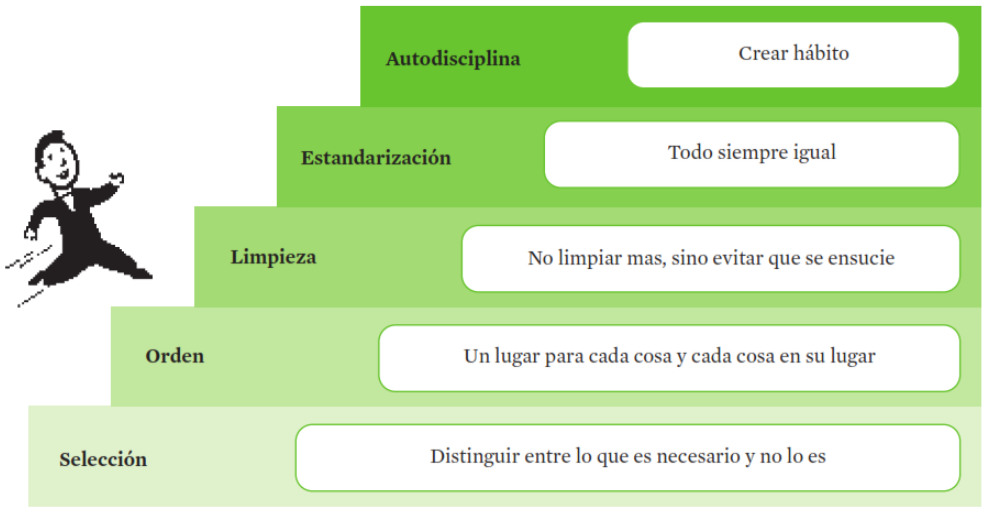


Figura 3:Representación Gráfica de las 5's

Fallos y Averías

Según ([SEAS], 2012) define a fallos y averías como la alteración o interrupción de un bien en el cumplimiento de su función requerida.

Diagrama de Flujo

Para Albán (2014) el diagrama de flujo es la representación gráfica de la secuencia de pasos que se realiza para obtener un resultado, se representa a través de formas y símbolos gráficos.

	Comienza o finaliza el proceso
	Conexión con otro proceso
	Actividad: tarea o actividad llevada a cabo
	Decisión: punto en donde se toma decisión sí o no
	Documento: se utiliza para generar algún documento específico en el proceso.

Figura 4: Símbolos de diagrama de flujo.

Sus características son:

- Proporciona información sobre el proceso de forma clara, amplia y ordenada.
- Muestras diferentes actividades y etapas asociadas a un proceso mediante una representación gráfica.
- Permite una mejor comprensión global del proceso.

Gráfico de Tendencia

Según ([INEI] ,2009) estable que este tipo de gráfico se presenta un solo indicador simbolizado por una curva que une a la serie de valores que muestran las variaciones de un fenómeno a través de un determinado período.

Indicadores de Gestión de Mantenimiento

Según, García (2012) menciona que el término indicador en el lenguaje corriente se refiere a información de tipo cualitativo o cuantitativo, que nos permiten determinar cómo se encuentran los sistemas, o las personas en relación con algún aspecto de la realidad que se desea conocer. Los

indicadores pueden ser números, medidas que establecen condiciones o situaciones específicas.

Los Indicadores de Gestión de Mantenimiento son indicadores técnicos de control que están relacionados con la calidad el mantenimiento que permite ver el rendimiento operacional de los sistemas y equipos, además miden la calidad de los trabajos y el grado de cumplimiento de los planes de mantenimiento.

Los Indicadores de Gestión de categoría mundial más utilizados en el mantenimiento industrial son: Disponibilidad, Tiempo Promedio entre Falla (MTBF) y Tiempo Promedio para Reparar por mencionar algunos de ellos.

Lean Manufacturing

(Hernández & Vizán, 2013, p. 10) s definido como, es una filosofía de trabajo, basada en las personas, que define la forma de mejora y optimización de un sistema de producción focalizándose en identificar y eliminar todo tipo de “desperdicios”, definidos éstos como aquellos procesos o actividades que usan más recursos de los estrictamente necesarios. Identifica varios tipos de “desperdicios” que se observan en la producción: sobreproducción, tiempo de espera, transporte, exceso de procesado, inventario, movimiento y defectos. Lean mira lo que no deberíamos estar haciendo porque no agrega valor al cliente y tiende a eliminarlo. Para alcanzar sus objetivos, despliega una aplicación sistemática y habitual de un conjunto extenso de técnicas que cubren la práctica totalidad de las áreas operativas de fabricación: organización de puestos de trabajo, gestión de la calidad, flujo interno de producción, mantenimiento, gestión de la cadena de suministro. Los beneficios obtenidos en una implantación Lean son evidentes y están demostrados.

Su objetivo final es el de generar una nueva CULTURA de la mejora basada en la comunicación y en el trabajo en equipo; para ello es indispensable adaptar el método a cada caso concreto. La filosofía Lean no da nada por

sentado y busca continuamente nuevas formas de hacer las cosas de manera más ágil, flexible y económica.

Mantenimiento

Entendemos por mantenimiento como todas las actividades que deben ser desarrolladas en un orden lógico, con el propósito de conservar en condiciones de operación segura, efectiva y económica, todos los equipos de producción, herramientas y demás activos físicos de las diferentes instalaciones de una empresa. Asimismo, precisa que la importancia del mantenimiento se deriva, por tanto, de la necesidad de contar con una estructura que permita restablecer rápidamente las condiciones de operación ideal, para reducir al mínimo las pérdidas de producción (García, 2012).

Según Gonzáles (2013) el mantenimiento es el conjunto de operaciones y trabajos que se hacen sobre una máquina, en un orden lógico la cual puede incluir o no la sustitución o reparación de componentes o sistemas en una máquina, el cual busca mantener su buen estado de uso con un funcionamiento adecuado.

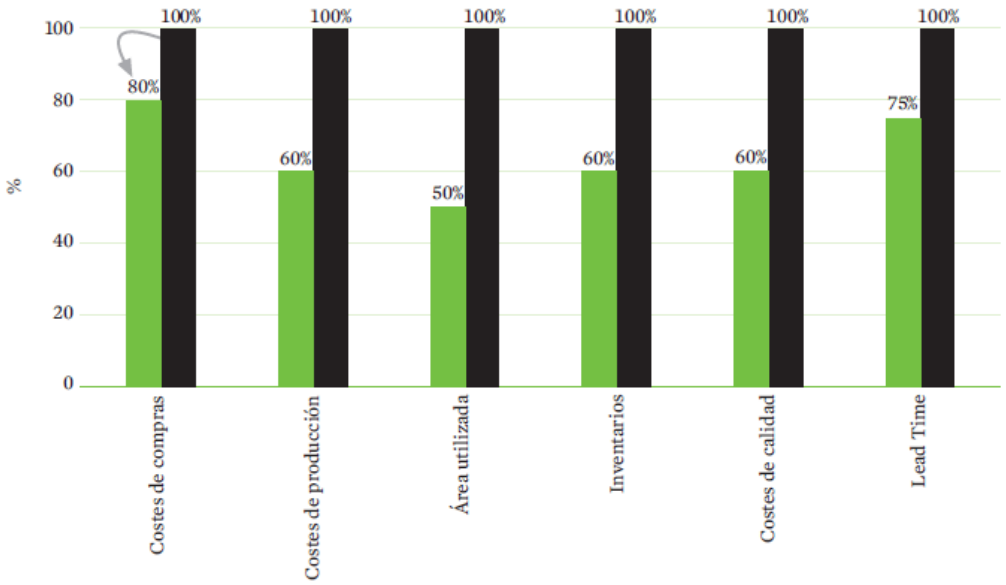


Figura 5: Beneficios de la implementación Lean

Mantenimiento Correctivo

Navarro, Pastor y Mugaburu (1997), establecen que el mantenimiento correctivo consiste en ir reparando las averías o fallas a medida que se van produciendo en los equipos, el personal encargado muchas veces de avisar de las averías es el propio usuario de los equipos y el encargado de las reparaciones el personal de mantenimiento". Del mismo modo, García (2012) menciona que la actividad principal que desarrolla el mantenimiento correctivo es la reparación no planificada que resulta debido a la falla imprevista que pueda presentar algún equipo, este Mantenimiento trae consigo según Gonzales (2005) las siguientes consecuencias:

- Paradas no previstas, disminuyendo las horas operativas.
- Paradas a la espera de la corrección.
- Costos por reparación y repuestos no presupuestados, ocasionando que por falta de recursos económicos no se pueda comprar los repuestos en el momento deseado.
- La planificación del tiempo que estará el equipo fuera de operación no es predecible.

Mantenimiento preventivo

Para García (2012) hace mención al mantenimiento preventivo como un conjunto de actividades programadas a equipos en funcionamiento que permiten en la forma más económica, continuar su operación eficiente y segura, con tendencia a prevenir las fallas y paros imprevistos de los equipos, del mismo modo también consideramos según la apreciación de Arata y Furlamentto (2005). Los cuales nos hacen referencia que el mantenimiento preventivo surge como respuesta para superar las insuficiencias propias del mantenimiento correctivo. Su objetivo es reducir la probabilidad de ocurrencia de fallas evitando detenciones repentinas en la producción. Esta estrategia posee una gama de herramientas para la

definición de tareas de mantenimiento y remplazo de equipos basados en el tiempo de operación o la etapa en el ciclo de vida en que se encuentran.

Gonzales (2005) citado por Albán (2014). Nos refiere que el mantenimiento preventivo presenta algunas características como:

- Que se planifica en un momento en que se aprovecha las horas ociosas de los equipos.
- Se lleva a cabo siguiendo un programa previamente elaborado donde se detalla el procedimiento a seguir, y las actividades a realizar, a fin de tener las herramientas y repuestos necesarios para realizar la actividad.
- Cuenta con una fecha programada, además de un tiempo de inicio y de terminación preestablecido.
- Está destinado a ciertos componentes específicamente. Aunque también se puede llevar a cabo un mantenimiento generalizado.
- Permite contar con un historial de los equipos.
- Permite contar con repuesto aprobados por el administrador de la empresa.

Ventajas del mantenimiento preventivo:

Así mismo los autores Arata y Furlanetto (2005) nos hace mención de algunas ventajas del mantenimiento preventivo sobre el correctivo estableciendo las siguientes:

- Permitir planificar las actividades de mantenimiento y, por lo tanto, determinar los requerimientos de recursos humanos y materiales (partes, piezas y herramientas).
- Disminuir la frecuencia de las paradas.
- Aprovechar la intervención para realizar varias reparaciones.
- Minimiza el tiempo de reparación de los equipos al desarrollarse las tareas de mantenimiento de manera planificada.
- La seguridad de los operadores se ve incrementada al reducir los eventos de falla

Podemos notar que gracias a este mantenimiento nos ayuda a poder reducir los eventos de las fallas imprevistas y así nos pueda ayudar para incrementar la disponibilidad de los equipos.

Según Boero (2009) establece que las técnicas utilizadas para la detección de anomalías en el mantenimiento preventivo son:

- Inspecciones visuales: consiste en verificar posibles defectos que evidencian los componentes del equipo. Puede ser interna o externa, la externa es la más sencilla y en general se realiza a simple vista o con la ayuda de instrumental sencillo.
- Medición de temperatura: la generación de temperaturas superiores a las del normal funcionamiento puede indicar anomalías generadas por rozamientos, falta de lubricación o pérdida.
- Control de lubricación: el consumo excesivo de aceite es un indicador de posibles problemas en el equipo.

Manufactura Esbelta

También denominado Lean Manufacturing, viene a ser de acuerdo a Hernández y Vizán (2013), una filosofía de trabajo, basada en las personas, que define la forma de mejora y optimización de un sistema de producción focalizándose en identificar y eliminar todo tipo de desperdicios que se observan en la producción tales como: sobreproducción, tiempos de espera, transporte, exceso de procesado, inventario, movimiento y defectos. De esta manera se tiene el objetivo de generar una nueva cultura de la mejora basada en la comunicación y en el trabajo en equipo.

Tabla 1:Origen y evolución de los principios Lean.

JIT	JWO	Lean
Reducción producto en curso	Trabajadores multidisciplinares	Jidoka
Flujo continuo	Calidad en el puesto	Calidad Total
Reducción tiempos de entrega	Mantenimiento en el puesto	Mejora continua
Reducción tiempos de fabricación	Mejoras del puesto de trabajo	Compromiso dirección y empleados

Matriz de Modos y Efectos de Falla - FMECA

Según Carlson (2012, p.21) Es un método diseñado para:

- Identificar y entender completamente los modos de fallas y sus causas, efectos de fallas de los sistemas para un producto o proceso determinado
- Evaluar el riesgo asociado con los modos de falla identificados […] y priorizar los problemas para tomar las acciones correctivas
- Identificar y tomar acciones correctivas para atender los problemas más graves.

Tabla 2: Modelo de una Matriz FMECA

MATRIZ DE ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA, EFECTOS Y CRITICIDAD

PRODUCTO / CLIENTE	FLOTA DE CAMIONES CAT 793C
SISTEMA / COMPONENTE	SISTEMA DE ENFRIAMIENTO
PROCESO	OPERACIÓN MINERA
DUEÑO DEL PROCESO	MANTENIMIENTO MINA

RESPONSABLE	
APPL. ENGR.	N/ A
SCHED. JOB 1	N/ A
FECHA FMECA	5/ 08/ 2017
ÚLTIMA REVISIÓN	N/ A

SISTEMA	SUB-SISTEMA / COMPONENTE	FUNCIÓN	MODO DE FALLA POTENCIAL	EFECTO POTENCIAL DE FALLA	SEVERIDAD	CAUSA POTENCIAL DE FALLA	OCURRENCIA	CONTROLES ACTUALES DE DETECCIÓN	DETECTABILIDAD	RPN = S x O x D	ACCIONES RECOMENDADAS	RESPONSABLE / FECHA DE CULMINACIÓN PREVISTA	ACIONES TOMADAS / FECHA DE CULMINACIÓN EFECTIVA	RESULTADOS: SEVERIDAD	RESULTADOS: OCURRENCIA	RESULTADOS: DETECTABILIDAD	RESULTADOS: RPN = S x O x D
Sistema de enfriamiento	Radiador	Mantener la temperatura de operación del sistema entre 85°C-95°C mediante la transferencia de calor transportada con el refrigerante hacia las alteas de los cores	1. Fuga externa de refrigerante por cores 2. . . . . . 3. . . . . . 4	1.1. Temperatura elevada por tmasferencia deficiente de calor 1..2 Contaminación medioambiental - . . . . . . -	5	A. Alta vibración del componente - . . . . . . -	3	Inspección visual programada	4	60	Control de calidad durante y al final del proceso de reparación del componente	Estrategia 30/ 09/ 17		5	2	4	40
	Enfriador de Aceite	Transferir la temperatura generada en el sistema hidráulico hacia el refrigerante mediante sus cores internos	1. Fuga interna de refrigerante - . . . . . . - . . . . . . -	1.1 Presencia de refigerante en el sistema hidráulico - . . . . . . - . . . . . . -	8	A. Corrosión severa de cores - . . . . . . -	5	Monitoreo de muestras de aceite por presencia de refrigerante	5	200	Implementar estrategia de cambio de componente cada 32k horas	Planeamiento 30/ 09/ 17		8	2	5	80
	Mangueras	Transportar de manera segura el refrigerante de los componentes que generan calor hacia el radiador en un circuito cerrado	1. Desgaste o rotura de la chaqueta y/ o terminales de manguera 2. . . . . . 3. . . . . . 4	1.1. Temperatura elevada por tmasferencia deficiente de calor 1..2 Contaminación medioambiental 1.3 Daño personal por impacto repentino -	5	A. Soltura por falta de sujeción y/ o protección - . . . . . . -	9	Inspecciones periódicas por solturas de clips & clamps	6	270	Reforzar el proceso de inspección de clips & clamps en la áreas críticas de acuerdo a la experiencia y el manual de servicio	Ejecución 30/ 09/ 17		5	6	6	180
	Bomba de Agua	Generar flujo del refrigerante a través de todo el sistema de enfriamiento	1. Rotura de eje de bomba 2. . . . . . 3. . . . . . 4	1.1 Baja presión por bajo flujo 1.2 Temperatura elevada por tmasferencia deficiente de calor - . . . . . . -	8	A. Fatiga prematura de material - . . . . . . -	3	Estrategia de cambio de bomba cada 14k horas	8	192	Desarrollar un proceso de análisis AFA para determinar las causas y acciones para controlar este modo de falla	Estrategia 30/ 09/ 17		8	2	7	112
	Termostato	Mantener la temperatura de operación del sistema mediante la derivación del flujo de refrigerante hacia el radiador	1. Funcionamiento errático por trabamiento 2. . . . . . 3. . . . . . 4	1.1 Eventos de alta temperatura de operación normal 1.2 Baja temperatura durante el arranque inicial - . . . . . . -	8	A. Pérdida de tensión de resorte - . . . . . . -	3	Estrategia de cambio de termostatos cada 7K horas	7	168	Seguimiento de tendencia de temperatura de motor para advertir falla de este mecanismo	Predictivo 30/ 09/ 17		8	2	6	96

Objetivo del mantenimiento

El Mantenimiento siendo parte fundamental para el desarrollo de actividades de una entidad, considera García (2012) que: el objetivo primordial es la conservación de los sistemas o componentes y la protección de un equipo, para que se sostengan operando eficientemente y poder retardar el deterioro de tal forma poder alargar la vida útil del equipo. Del mismo modo Méndez. V. (s.f.). Afirma que en el caso del mantenimiento su organización e información debe estar encaminada a la permanente consecución de los siguientes objetivos:

- Optimización de la disponibilidad del equipo productivo.
- Disminución de los costos de mantenimiento correctivo.
- Optimización de los recursos humanos.
- Maximización de la vida útil de los vehículos.

Plan de mantenimiento preventivo.

Para Bravo (1989) citado por Albán (2014) menciona que el plan de mantenimiento preventivo viene a ser un programa de tareas y procesos de manutención anual programado, organizado y estructurado sobre la base de unidades técnicas, buscando especificar al detalle las fechas y los tipos de actividades que se deben realizar en maquinarias o equipos. Del mismo modo, Bello y Quintero (2016) en su trabajo de investigación detalla que el plan de mantenimiento requiere que se proponga un nuevo proceso o pasos a seguir a la hora de llevar acabo un mantenimiento teniendo como objetivo el uso de las herramientas diseñadas, como la codificación de los equipos la utilización de los formatos, instructivos y plantillas diseñadas para poder brindar un buen control y registro de los equipos.

Fases del plan de mantenimiento preventivo

Herramientas diseñadas para el buen funcionamiento del plan de mantenimiento preventivo las cuales son partes importantes en el desarrollo del plan tales como:

A. Difusión de las políticas del mantenimiento preventivo:

Al hacer mención de una política de mantenimiento, ésta requiere de la existencia de un plan de acciones el cual debe ser conocido por todos los integrantes directos del área a su vez debe haber sido aprobado previamente por las autoridades de la organización, así mismo esto nos permitirá desarrollar paso a paso las actividades que se programen en forma metódica y sistemática. Así mismo, dar a conocer la importancia de las ventajas de este plan al personal del área de mantenimiento los cuales tienen como deber principal supervisar, mantener y cuidar el funcionamiento de los equipos.

B. Codificación de equipos

Para Castro (2006) considera la codificación a grandes rasgos viene hacer dar a las maquinas o equipos una dirección donde ubicarlas y un nombre con el cual se podrá identificarlas lo cual permitirá tener un control y conocimiento sobre la información técnica de los equipos.

C. Diseño de estándares:

Para Arata y Furlanetto (2005), establece que el estándar es la forma pre establecida de llevar a cabo una actividad dada, puesto que estandarizar la actividad es el requisito básico para poder analizarla y mejorarla mediante el análisis de resultado.

Estas pueden ser en forma de:

- Manual: Es un documento administrativo que norma y establece la secuencia de procedimientos de actividades que se realizan para llevar a cabo alguna tarea.

- Formato: Es un documento administrativo en el cual se detalla alguna actividad realizada o a realizar.

- Pre uso: documento donde se llega a detallar las inspecciones visuales de los sistemas y componentes del equipo antes de operar la unidad.

- Chek list: Documento donde se encuentra listado los principales sistemas y componentes a inspeccionar de la unidad.

- Orden de trabajo: es un documento, en el cual el jefe de mantenimiento informa al técnico sobre la tarea que tiene que realizar. Estas órdenes son una de las fuentes de información más importantes en el mantenimiento, pues en ella se recoge los datos más importantes de cada intervención según (García 2003).

D. Diseño de cronograma de mantenimiento:

Aquí debe de estar consignado los trabajos o actividades de mantenimiento para realizar diarias, semanales, mensuales y anuales según sean las actividades programadas para el buen desarrollo del mantenimiento de los equipos, dichas actividades se planificarán con respecto al kilometraje o al tiempo de operación del equipo.

E. Plan de control del plan de mantenimiento:

Según García (2012), el control es la última fase del ciclo de la gestión del plan de mantenimiento y su objetivo central es ejecutar la medición de resultados actuales o pasados y compararlos con los esperados, ya

sea de forma parcial o total con el fin de detectar las diferencias o brechas reales entre lo planeado y ejecutado, para mejorar deficiencias, mejorar los procedimientos o formular nuevos planes de acción.

Fases del plan de control:

- El establecimiento de normas o bases con que se harán la medición. Las normas son los patrones con que permiten hacer las comparaciones.
- El establecimiento de controles, o sea la manera en que se hará la medición y se obtendrá la información.
- La interpretación de los resultados, o sea comprender y - cuantificar la comparación.
- Determinación de acciones correctivas, que serán la base para hacer la nueva planificación.

Procedimientos, Instrucciones y Registros

De acuerdo a Torres, L. (2016). Los siguientes conceptos se definen de la siguiente manera:

- Procedimiento:
  Es un documento que describe la secuencia de pasos necesarios para asegurar la correcta ejecución de actividades de tipo administrativo o técnico. Un procedimiento define “qué se debe hacer”, “quién lo debe hacer”, “cuándo” y “dónde” se debe realizar.

- Instructivo:
  Es un documento que describe detalladamente la forma “cómo” debe ejecutarse una actividad o tarea, para asegurar su realización. Estos documentos deben especificar las actividades, equipos, documentos a utilizar, el control de las actividades y registros que deben originar.

- Registro:
  Son los documentos o archivos en los cuales se identifica, agrupa, codifica, conserva y dispone todo lo referente a los servicios prestados. Se deben conservar para demostrar que lo planificado se ha realizado, a la calidad requerida y a la operación efectiva del sistema de calidad.

Tipos de mantenimiento

Para los autores Pérez, Rodríguez y Sancho (2007), consideran que existen varios tipos de mantenimiento con diferencias en cuanto a objetivos, planificación, recursos necesarios, etc. En la actualidad, en las grandes industrias ninguna de estos tipos se utiliza exclusivamente, si no, que se realiza un mantenimiento planificado que combina los diferentes tipos con el objetivo de optimizar los costes globales y la disponibilidad de los equipos.

Tiempo promedio entre falla (MTBF)

García (2012) menciona que el Tiempo Promedio entre Falla indica el intervalo de tiempo más probable entre el arranque del equipo y la aparición de una falla; es decir, es el tiempo promedio transcurrido hasta la llegada de una falla; asimismo, Zegarra (2016) estable el indicador del MTBF para un periodo determinado se calcula dividiendo el número de horas trabajadas o de operación en dicho periodo entre el número de paradas por motivos mecánicos que tuvo el equipo en el mismo se representa a través de la fórmula:

MTBF= (N° de horas de operación) / (N° de paradas correctivas)

Un alto MTBF es indicativo de que la maquina tiene una baja frecuencia de falla y que está más tiempo produciendo que en el taller, los valores metas

de este indicador dependerán del tipo de máquina y de aplicación al que está sometida la máquina. Del mismo modo, García (2012) se refiere que este indicador debes ser tomado de alguna manera como el comportamiento del equipo. Asimismo, para utilizar este indicador se debe usar la data histórica almacenada en los sistemas de información.

SIPOC (Supplier – Input – Process – Outputs – Customers)

De acuerdo a (Pockels, 2018) el SIPOC es un diagrama de flujo a alto nivel y, a su vez, es el primer paso para la realización de un diagrama de flujo detallado (flujograma de proceso). Permite visualizar los pasos secuenciales de un proceso definiendo claramente sus entradas, salidas, proveedores y clientes. Recoge detalles importantes sobre el inicio y el final del proceso. Es una herramienta de gran utilidad para identificar el proceso a investigar en la primera etapa de la metodología DMAIC

Permite tener un conocimiento consistente del proceso analizado ya que se consensua por el equipo del proyecto de mejora.

El procedimiento para realizar un SIPOC es muy sencillo: se trata de listar las partes implicadas en el proyecto distinguiendo entre Proveedores (Suppliers), Inputs, Proceso, Output y Clientes.

Con el SIPOC creado, se ven cuáles son las actividades involucradas y de qué forma están interconectadas. Además, se pueden discernir fácilmente las partes implicadas de las que no lo están. Por último, ayuda a identificar a los clientes y resaltar los que se tienen que satisfacer de acuerdo con los objetivos del proyecto.

S	I	P	O	C
Proveedores	**Entradas**	**Proceso**	**Salidas**	**Clientes**
¿Quién suministra lo que se necesita para ejecutar el proceso?	¿Cuáles son los insumos requeridos?	¿Qué hace el proceso?	¿Cuál es el resultado esperado del proceso?	¿Qué clientes necesitan la salida de este proceso?
Ejemplo:				
Departamento de finanzas de sucursales.	Ordenes de compras. Facturas.	Paso 1 Paso 2 Paso 3	Reportes financieros	Departamento financiero corporativo

Figura 6 :Representación Gráfica de las 5's

1.3.2. Definición de Términos Básicos

Contexto Operacional

Conjunto de circunstancias en las que se espera que opere un activo físico o sistema. (Moubray, 2004, p. 419)

Dispositivo o sistema de protección

Un dispositivo o sistema diseñado para evitar, eliminar o minimizar las consecuencias de falla de otro sistema. (Moubray, 2004, p. 419)

Funcionamiento Deseado

El nivel aceptable de funcionamiento para el propietario o usuario del activo físico o sistema. (Moubray, 2004, p. 420)

Política de Manejo de Falla

Término genérico que abarca las tareas a condición, el reacondicionamiento programado, la sustitución cíclica, la búsqueda de fallas, el mantenimiento correctivo, y el rediseño. (Moubray, 2004, p. 421)

Sistema Informativo de Mantención (SIM)

Conjunto de normas, procedimientos y herramientas capaces de adquirir y procesar la información necesaria para la gestión de las actividades de mantención y para el monitoreo de la actividad de las instalaciones. (Arata, 2005, p.922)

Técnicamente Factible

Una tarea es técnicamente factible si es físicamente posible para la tarea reducir, o permitir tomar una acción que reduzca, las consecuencias del modo de falla asociado al punto que el propietario o usuario pueda aceptar. (Moubray, 2004, p. 421)

Tareas de Mantenimiento Preventivo

Corresponden al conjunto de tareas de revisión, inspección, ajuste, lubricación desarrolladas a unas ciertas frecuencias (recomendadas por el fabricante o fruto de la experiencia y seguimiento del personal a cargo del mantenimiento), sumado a las posteriores tareas de mantenimiento correctivo. (Torres, 2015, p.488).

1.4. Formulación del Problema

¿De qué manera la propuesta de un plan de mejora en los procesos de reparación de la flota de camiones CAT793, permitirá aumentar la disponibilidad operativa de los equipos en una empresa minera a tajo abierto?

1.5. Justificación e Importancia del Estudio

1.5.1. Justificación Metodológica

El presente trabajo permitirá contrastar las propuestas y metodologías de trabajo relacionados a la gestión del mantenimiento mencionadas en los textos bibliográficos de varios autores expertos en el tema, así como el

aporte con nuevos métodos y casos de estudio enfocado a la realidad operativa de un proceso minero a tajo abierto.

1.5.2. Justificación Práctica

Mediante este estudio se demostrará el incremento de la disponibilidad operativa enfocándonos netamente en al análisis de los tiempos promedios de reparación y por ende en la mantenibilidad del equipo los cuales serán calculados en base a los criterios establecidos en la teoría aportando a la línea de investigación con conocimiento práctico.

1.5.3. Justificación Económica

Cada hora de operación de estos equipos representa aproximadamente $ 450.00 por lo que al reducir los tiempos de reparación debido a las fallas repentinas se incrementará la disponibilidad de la flota en al menos 1.8%, pudiendo lograr un ahorro en costos de hasta $ 1.5M lo cual haría viable este proyecto de mejora obteniendo un retorno de inversión menor a un año.

1.5.4. Justificación Académica

El presente estudio de Propuesta de un plan de mejora en los procesos de reparación servirá como fuente de información y sentará las bases para el desarrollo de otros estudios relacionados, en las áreas de: Ing. Mecánica, Ciencias de la Gestión de Calidad, Administración, Estadística Aplicada y carreras técnicas afines.

1.5.5. Importancia

La importancia del presente trabajo de investigación radica en estudiar las principales variables que intervienen en el aumento o disminución de la disponibilidad en especial atención en los tiempos promedios de reparación – MTTR de la flota pesada de movimiento de tierra CAT 793 dentro de una operación minera a tajo abierto el cual al ser de un valor muy elevado reduce significativamente las horas de producción de los equipos. Este estudio permitirá identificar las causas que generan los

altos tiempos de reparación y plantear nuevos métodos de trabajo y una mejor gestión de los procesos actuales.

1.6. Hipótesis

Los procesos de reparación inciden en la disponibilidad operativa de la flota de camiones CAT 793 en Minera Yanacocha S.R.L.

1.7. Objetivos

1.7.1. Objetivo General

Determinar la incidencia de procesos de reparación de la flota de camiones CAT793 del área de mantenimiento mina y su influencia en la disponibilidad operativa.

1.7.2. Objetivo Específico

- Analizar los procesos de reparación de la flota de camiones CAT 793 del área de mantenimiento mina

- Determinar el nivel de los tiempos promedios de reparación y la disponibilidad operativa de la flota de camiones CAT 793

- Aplicar técnicas de correlación de variables para determinar la incidencia de los procesos de reparación y la disponibilidad operativa de la flota de camiones CAT 793 de la empresa minera Yanacocha

CAPÍTULO II: MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Tipo y Diseño de Investigación

2.1.1. Tipo de Investigación

Según su Orientación: Aplicada

Según su técnica de Contrastación: Descriptiva

Esto debido a que el estudio tiene como objetivo central el describir el comportamiento de una o más variables dependientes de una población definida, que en este caso serían todos los camiones de la flota CAT 793

2.1.2. Diseño de Investigación

No Experimental - Longitudinal

Debido a que la propuesta de mejora de los procesos de reparación no será implementada inmediatamente en el contexto operacional y longitudinal debido a que los datos de recolección de datos se pueden realizar diaria, mensual y anual.

2.2. Población y Muestra

La población estará compuesta por un total de 35 camiones mineros CAT 793 OHT clasificados de la siguiente manera de acuerdo con su modelo.

Tabla 3: Clasificación de la población en estudio

Modelo CAT 793	N° Equipos
CAT 793C	20
CAT 793D	15
Total	**35**

Debido a que la cantidad de la población está compuesta de 35 unidades de estudio, es decir una cantidad finita, para este estudio no será necesario determinar la muestra debido a que se analizará a toda la población.

2.3. Variables y Operacionalización

2.3.1. Variables

Variable Independiente: Incidencia de los procesos de reparación.

Variable Dependiente: Disponibilidad Operativa de la flota de camiones CAT 793.

2.3.2. Operacionalización

Tabla 4: Tabla de Operacionalización de Variables

VARIABLES y = f(x)	Dimensiones	Indicadores	Técnica	Instrumento
VARIABLE DEPENDIENTE (Y):				
— Disponibilidad Operativa de la Flota de Camiones	Tiempo Operativo	Disponibilidad (%)	- Análisis de registros de dispatch - Análisis de documentos relacionados	- Hoja de datos en excel - Reportes de jigsaw
	Tiempo de reparación	MTTR (Hrs/Rep)	- Análisis de reportes de paradas registrados - Observación de trabajo	- Hoja de datos en excel
	Productividad	$ / Ton	- Análisis de registros de dispatch	- Hoja de datos en excel - Reportes de jigsaw
VARIABLE INDEPENDIENTE (X):				
— Incidencia de los tiempos promedios de reparación	Analizar	- Ciclo de reparación - Demoras en el proceso - Modos de fallas comunes	- Análisis de órdenes de trabajo - Observación de trabajo	- Hoja de datos en excel - SAP - Mantenimiento - Guía de observación - Cronómetro, cámara fotográfica - Check list de verificación de tareas
	Diagnosticar	- Nivel de Capacitación - Suficiencia logística de materiales - Disponibilidad de facilidades	- Observación de trabajo - Reporte de nivel de servicio de logística	

2.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Técnicas e instrumentos:

El procesamiento de la información se realizará en formatos diseñados en Microsoft Office Excel, este software se utilizará para el diseño y elaboración de formatos, fichas, gráficos de tendencia y de barras donde se mostrarán los resultados, e interpretación. Además, se utilizarán la herramienta informática Microsoft Office Word, la cual nos permitirá elaborar el formato de la presente investigación.

Será necesario también los softwares de Visio 2016, para la elaboración de los mapas de procesos y el Minitab 17 para el análisis estadístico de los datos recogidos.

Métodos:

Observación directa: Esta técnica nos permitirá tener un acercamiento y acceso al taller del área de mantenimiento de la empresa minera para poder recolectar datos, y de esta manera observar las diferentes condiciones de las actividades del proceso del plan de mantenimiento preventivo que se lleva a cabo en los camiones mineros CAT 793

Revisión de Procedimientos: Es importante observar las actividades del personal que se encarga de realizar el mantenimiento correctivo, así como, los procedimientos laborales, herramientas, equipos y la infraestructura del taller perteneciente con que cuenta la empresa minera para realizar un diagnóstico adecuado acorde a la realidad operativa.

Para ello es importante realizar

- Guías de observación.
- Documentar las observaciones.
- Archivar los resultados de la observación directa para referencia y análisis posteriores.

2.5. Procedimientos de análisis de datos

El procedimiento de análisis de datos consistirá en los siguientes pasos:

A. Búsqueda de información en documentos de operación y mantenimiento de los equipos en estudio.
B. Recopilación de los procedimientos utilizados en el área de mantenimiento para realizar trabajos correctivos.
C. Identificación del mapa actual de procesos para atender las paradas correctivas.
D. Solicitud de los registros históricos de los tiempos de paradas de los equipos en estudio.
E. Solicitud de los principales indicadores de gestión del área de mantenimiento como son la disponibilidad operativa y el MTTR durante el año 2017
F. Recopilación de datos mediante la observación directa en campo durante el proceso de reparación mediante check list diseñados previamente.
G. Solicitud de órdenes de trabajo registrados en SAP para determinar los tipos de parada más frecuentes.

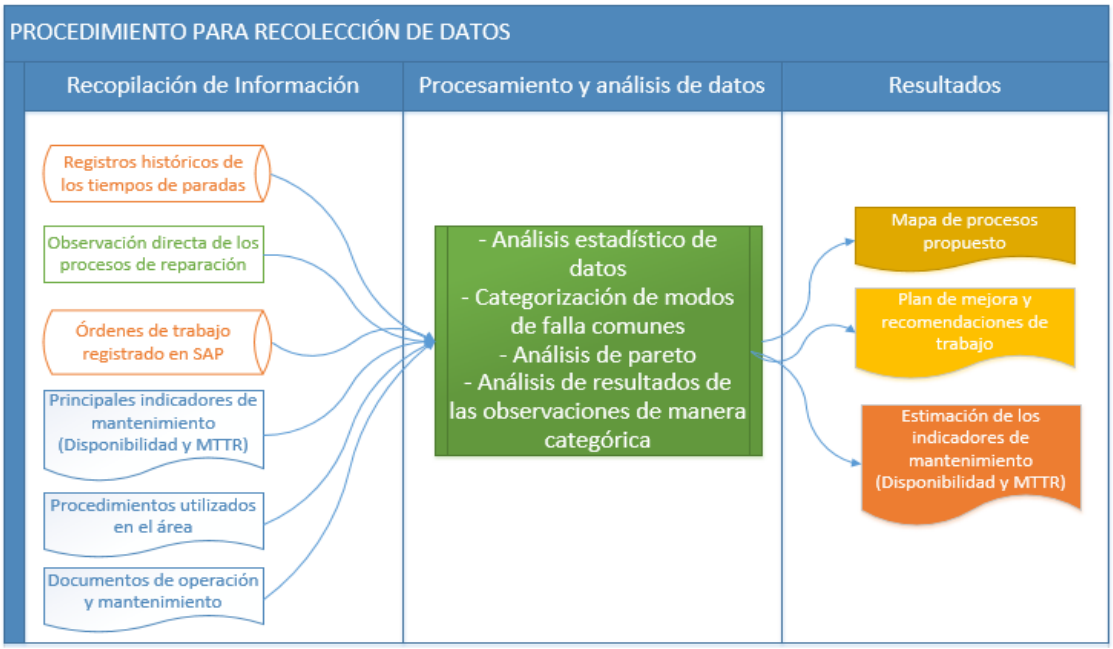


Figura 7: Mapa de proceso de recolección de datos

Para el desarrollo del estudio propuesto se emplearán las siguientes técnicas estadísticas

- Estadística descriptiva, promedio y desviación estándar.
- Análisis de Pareto
- Análisis de correlación entre la disponibilidad y el MTTR
- Prueba de hipótesis entre la disponibilidad y el MTTR luego de la implementación del plan de mejora (con datos asumidos)
- Análisis de tendencia y pronóstico de la disponibilidad para meses futuros.

2.6. Criterios Éticos

Se guardará absoluta confidencialidad de la base de datos recopilados a solicitud de la empresa minera, así como la divulgación de los procedimientos y métodos de trabajo, salvo que su divulgación tenga la autorización consentida de la empresa.

2.7. Criterios de Rigor Científico

Tabla 5: Tabla de Criterios de rigor científico

Criterio	Investigación Cualitativa	Estrategia de aseguramiento
Valor de Verdad	Credibilidad	Los registros recuperados serán de fuentes confiables del área de mantenimiento
Aplicabilidad	Transferencia	Comparar los resultados de la investigación con otros trabajos realizados relacionados al tema investigado
Consistencia	Dependencia	Los instrumentos a utilizar serán validados por personal de estrategia y ejecución del área de mantenimiento.
Neutralidad	Confirmabilidad	Entrevistas con personas expertas en el tema estudiado

CAPITULO III: RESULTADOS

3.1. Análisis de Resultados

Como parte de los instrumentos utilizados, procedemos a analizar las guías de observación de los trabajos realizados que forman parte del mantenimiento correctivo. Estas guías de observación tienen la finalidad de recopilar información referente a las facilidades que se tienen para la ejecución de los trabajos de mantenimiento categorizándolos en 4 elementos claves como son: (1) El proceso de evaluación y Gestión de los equipos en falla, (2) El proceso de planificación de los equipos en falla, (3) La facilidad de obtener los repuestos, materiales y herramientas, y (4) Los recursos humanos disponibles desde el punto de vista del nivel de sus capacidades y competencias, de esta manera será posible identificar las oportunidades de mejora fortaleciendo el proceso integral de reparación de las paradas no programadas o correctivas con la finalidad de reducir los tiempos de reparación no programados el cual viene a ser el objetivo principal del presente estudio.

Para ello se han realizado 40 observaciones en campo de manera aleatoria en un tiempo de 30 días evaluando y puntuando cada uno de los criterios descritos en las guías de observación, cuyo formato se encuentra en la sección de anexos del presente trabajo. En base a ello se han definido hasta cinco niveles o límites donde al final de las observaciones se determina el nivel en el cual se encuentra un determinado proceso, estos niveles son: Reactivo, Proactivo, Confiable, Optimizado, Objetivo.

De acuerdo a los datos observados el nivel mínimo en el que debe encontrarse un proceso debe ser entre el nivel Optimizado (3.0 puntos) y el objetivo (4.0 puntos).

3.1.1. Resultados de observación del proceso de evaluación y gestión de equipos en falla

Analizando los resultados del proceso de evaluación y gestión de los equipos en falla, observamos que se tienen niveles bajos de aceptación en cuanto al diagnóstico preliminar de falla indicado por el dispatch, es decir

que cada vez que el operador reporta una falla del equipo al despachador de mantenimiento, este no es tan acertado en cuanto a la causa real de la falla, lo que genera demoras al momento de la atención en taller debido a que el personal técnico tiene que realizar un diagnóstico más complejo, lo que genera demoras en el proceso de reparación.

La figura 8, muestra los resultados del proceso de evaluación y gestión de los equipos en falla como parte de las guías de observación utilizadas.

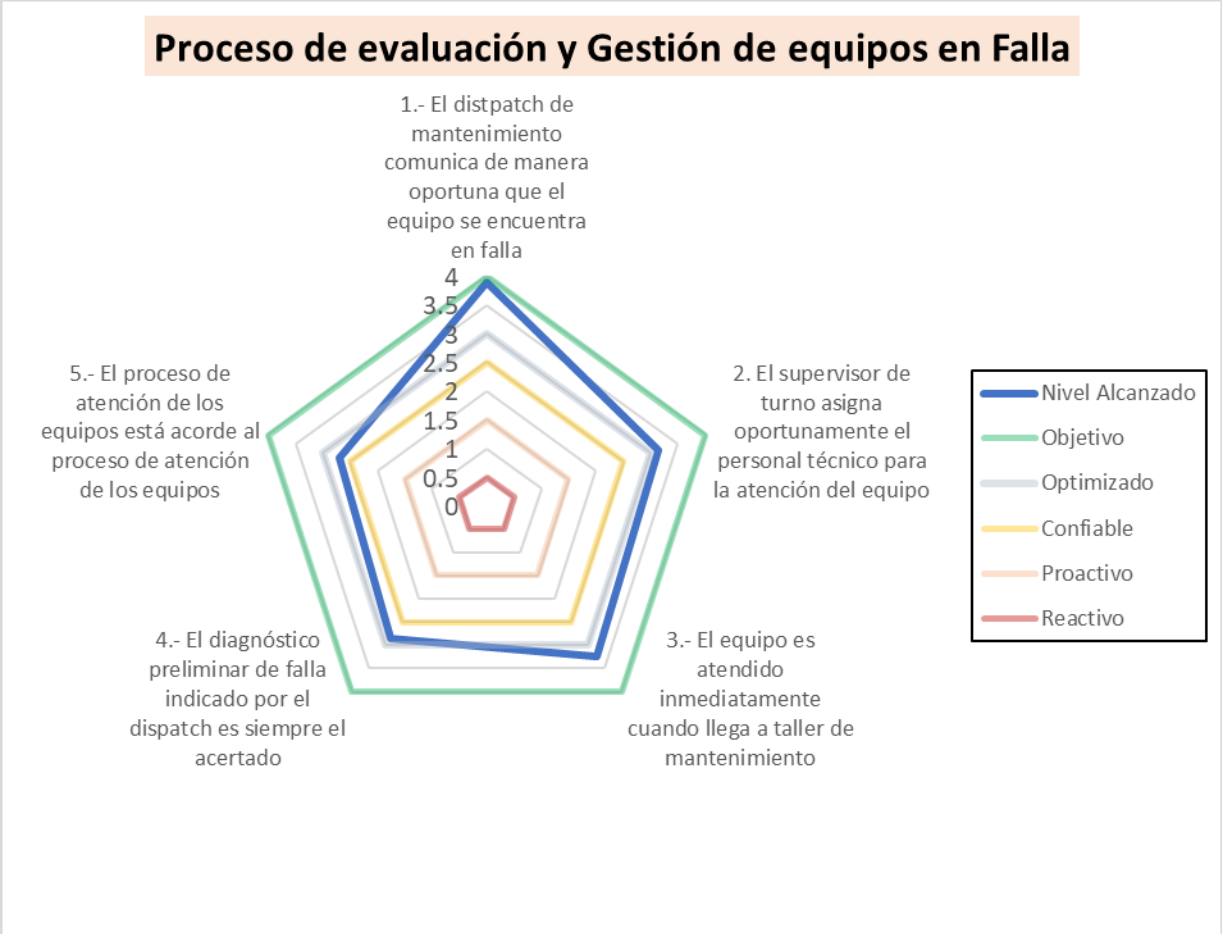


Figura 8: Resultado del proceso de evaluación y gestión de los equipos en falla

Otro de los aspectos que no alcanzan los niveles de desempeño deseados es el hecho de que el proceso de atención de los equipos no está de acuerdo al proceso general de reparación del área de mantenimiento, eso quiere decir que si bien es cierto que el área de mantenimiento cuenta con un diagrama de flujo para la atención general de reparación, en muchas ocasiones no se aplica de la misma manera cuando se tratan de paradas

no programadas lo que dificulta el proceso de reparación debido a que no se asignan los roles y funciones correctamente a las diferentes áreas que soportan el proceso de mantenimiento.

3.1.2. Resultados de observación de la planificación de equipos en falla

Con respecto al proceso de planificación de los equipos en falla se identificó que se deben mejorar en gran medida las acciones para soportar adecuadamente los equipos. Actualmente el área de planeamiento realiza la planificación y la programación de los equipos solamente en las tareas que son programadas, sin embargo, cuando se trata de paradas no programadas o correctivas el área de planeamiento no se hace responsable de este proceso dejando a criterio del supervisor de turno esta función.

Es por ello que para mejorar el proceso integral de reparación de los equipos se tiene que mejorar en cuatro aspectos claves: (1) La estimación de las horas de reparación, (2) Realizar procedimientos y manuales para realizar diagnósticos más rápidos, (3) Comprometer al área de planificación para que soporte adecuadamente los trabajos de mantenimiento correctivo que demanden mayor tiempo de paradas y (4) Realizar el pedido de repuestos de manera oportuna con la finalidad de reducir los tiempos nuestros del proceso de reparación.

La Figura 9 muestra el resumen de los resultados obtenidos luego de la observación relacionada al proceso de planificación cuando se realiza una actividad de mantenimiento correctivo, la línea de color azul representa los puntajes obtenidos por cada criterio de evaluación.

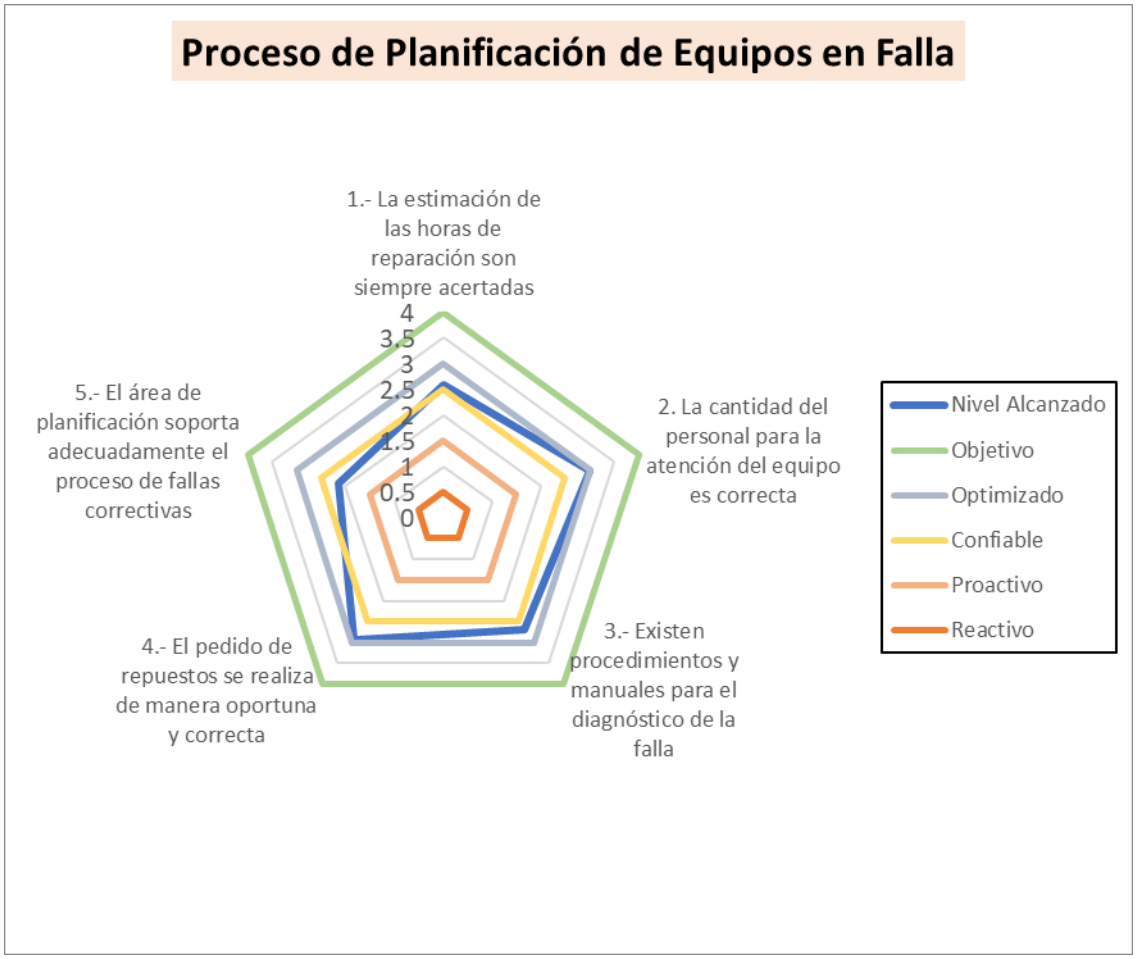


Figura 9: Resultado de la observación del proceso de planificación de los equipos en falla

3.1.3. Resultados de observación de repuestos, materiales y herramientas

De acuerdo a los resultados obtenidos de la evaluación de la facilidad de contar con los repuestos, materiales y herramientas, se aprecia que ninguno de los criterios evaluados alcanza el nivel de satisfacción requerido por lo que deberá implementarse medidas para mejorar el desempeño de este proceso.

Dentro de los aspectos claves se encuentran: (1) Que los repuestos no se encuentran con facilidad en el almacén cuando son requeridos, (2) La cantidad de materiales e insumos no son suficientes para realizar un trabajo de calidad, (3) Las herramientas que son utilizadas por los trabajadores son deficientes en cantidad y en algunos casos faltan herramientas específicas,

(4) Se adolece de mantener el orden y la limpieza en el taller satélite durante todo el proceso de reparación de los equipos y (5) Faltan actualizar y adquirir los equipos de diagnóstico de fallas así como la capacitación en el uso de estas.

La Figura 10, muestra el resultado de los puntajes obtenidos como parte del proceso de observación de cada uno de los trabajos de mantenimiento no programado con los criterios de evaluación mencionados. Como se muestra el nivel alcanzado por cada uno de estos criterios de evaluación no alcanza el nivel requerido de satisfacción de “Optimizado”

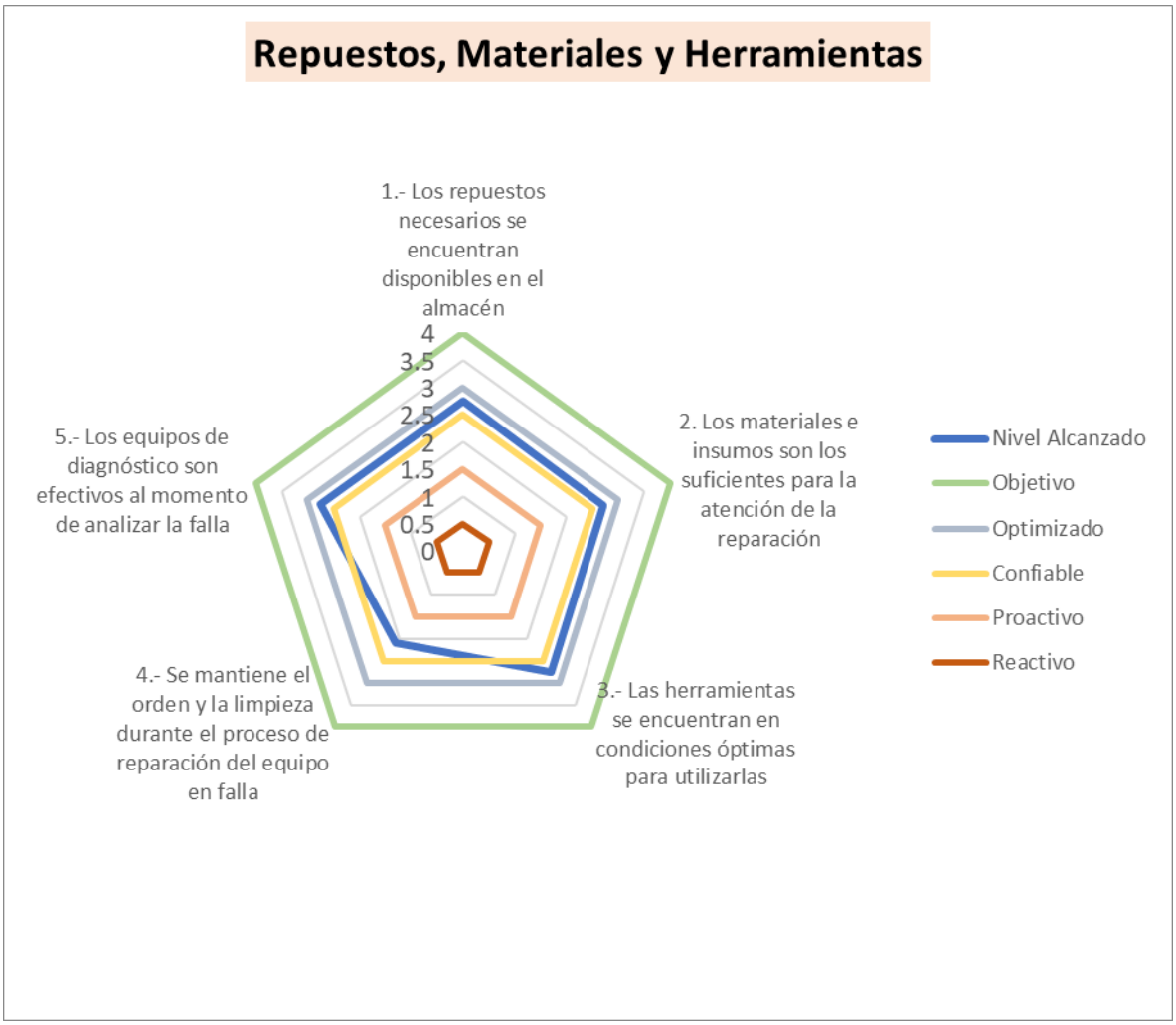


Figura 10: Resultados de la observación del estado de los repuestos, materiales y herramientas

3.1.4. Resultados de observación de los recursos humanos disponibles

Otro de los factores claves al momento de analizar el proceso de reparación de los equipos consiste en analizar las competencias teóricas y prácticas de los trabajadores, así como el nivel de motivación al momento de realizar las tareas de mantenimiento, es por ello que en la Figura 11 se muestran los resultados obtenidos de los principales criterios de evaluación, identificando que es necesario mejorar el desempeño de cada uno de estos para lograr el objetivo deseado.

Entre los criterios que necesitan ser mejorados de este aspecto tenemos: (1) Es necesario mejorar la capacidad de diagnóstico de las fallas, (2) Incrementar las habilidades prácticas al momento de realizar las tareas de mantenimiento, (3) Baja motivación del personal al momento de realizar el trabajo, (4) Bajo compromiso de los trabajadores para asegurar el tiempo de entrega de los equipos, evitando demoras en el proceso y (5) Mejorar las habilidades del supervisor para soportar adecuadamente a sus colaboradores con respecto a la identificación y solución oportuna de las fallas.

Los resultados obtenidos luego de la observación de tareas de mantenimiento correctivo nos dan una clara ubicación del nivel en el que se encuentran cada uno de los conceptos evaluados como parte del proceso integral de reparación de los equipos, es a partir de cada uno de estos niveles donde se tendrá que mejorar mediante la implementación de estrategias de mantenimiento para elevar el nivel de manera progresiva y sostenida en el corto y mediano plazo.

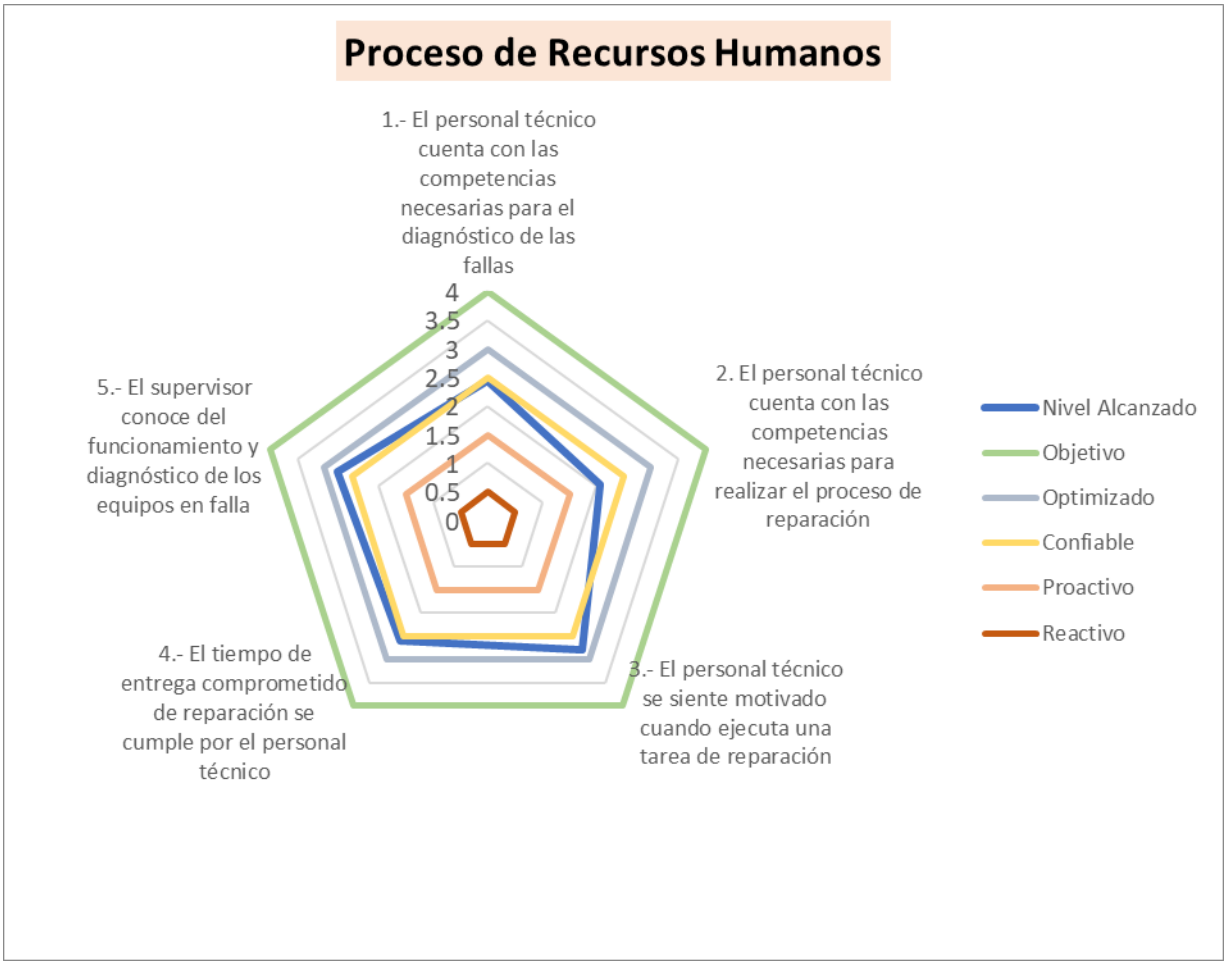


Figura 11: Resultados de las observaciones del Nivel de Competencias de los recursos humanos disponibles

3.2. Determinación de los tiempos promedios de reparación y la disponibilidad operativa de la flota de camiones CAT 793

Mediante el instrumento de recolección de datos de las horas de parada debido a mantenimiento no programado de la flota de camiones, se procedió a analizar el desempeño de los principales indicadores de mantenimiento como son la disponibilidad y el MTTR (Tiempo promedio para reparar).

Cada uno de estos indicadores guardan información relevante que tiene que ser interpretada con la finalidad de proponer alternativas de mejora para mejorar el desempeño de la flota de camiones, enfocado en los modos de falla más comunes.

3.2.1. Análisis de los tiempos promedios de reparación

La Figura 12 muestra el comportamiento de los tiempos promedios de reparación de toda la flota de camiones durante el 2017, se puede apreciar que durante los meses de enero y febrero este indicador ha sido de 8.73 Hrs/rep y 7.46 Hrs/rep respectivamente, valor que es muy superior al compararse con los resultados de los demás meses el cual se encuentra en 1,71 Hrs/rep en promedio. Estos valores elevados están justificados debido a las fallas esporádicas que se tuvieron en esos meses realizando el cambio de componentes mayores lo que demanda mayor cantidad de horas de parada.

Si nos detenemos a analizar la el MTTR de los demás meses, podremos observar que el valor mínimo ha sido de 1.47 Hrs/Rep y su valor máximo de 2.02 Hrs/Rep, si bien es cierto que un MTTR bajo nos indicaría que el área de mantenimiento realiza las reparaciones con bastante rapidez, lo que está alineado al objetivo del personal de ejecución, también nos indica que existen fallas muy frecuentes que son reparadas de manera parcial con la finalidad de que el equipo vuelva a operar hasta un siguiente ingreso por mantenimiento programado. Este tipo de fallas son las denominadas “Fallas Crónicas” fallas que deberán ser analizadas para reducir o eliminar sus consecuencias e impactos.

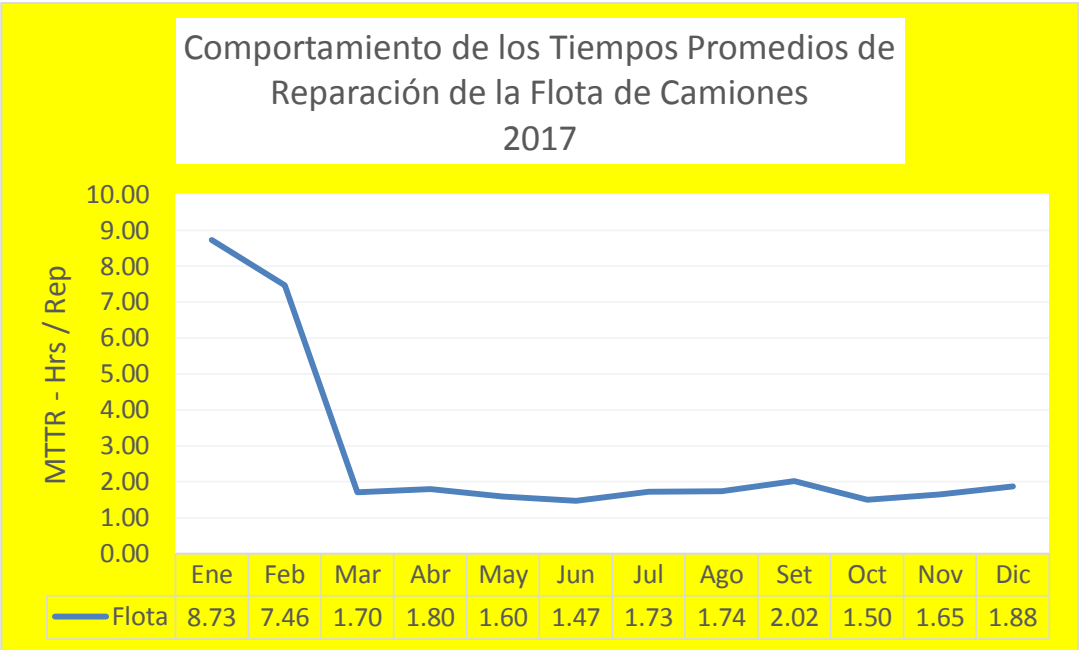
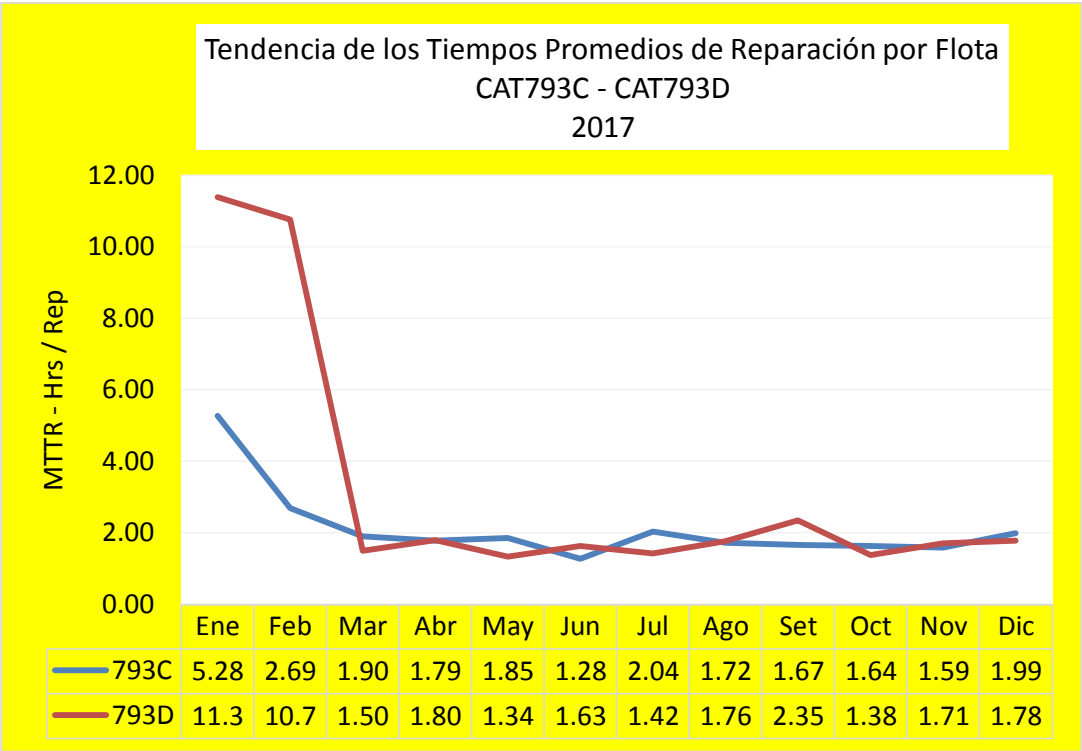


Figura 12: Tendencia del MTTR de la Flota de Camiones 2017

La Figura 13 muestra el comportamiento del MTTR durante el año 2017 diferenciando los modelos de equipos que forman parte de la flota de camiones mineros CAT793, en ella se puede observar que durante los meses de enero y febrero el modelo CAT793D es el que ha tenido un valor mayor de MTTR con 11.3 Hrs/rep y 10.7 Hrs/rep respectivamente, mientras que el MTTR de la flota CAT793C obtuvo valores de 5.28 Hrs/rep y 2.69 Hrs/rep respectivamente. De los datos mostrados se puede concluir que la flota CAT793D presentó mayor tiempo de parada debido a las reparaciones mayores en los equipos. Sin embargo, la flota CAT793C también presentó valores mayores durante estos dos meses en comparación con los mostrados en el resto del año, lo que indicaría también reparaciones relativamente mayores y de complejo diagnóstico y/o solución.



	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
793C	5.28	2.69	1.90	1.79	1.85	1.28	2.04	1.72	1.67	1.64	1.59	1.99
793D	11.3	10.7	1.50	1.80	1.34	1.63	1.42	1.76	2.35	1.38	1.71	1.78

Figura 13: Tendencia del MTTR por Flota CAT793C y CAT793D

Como se puede observar, los resultados del indicador del MTTR se muestran con valores similares para ambos modelos de equipos durante los meses subsiguientes a febrero por lo que se pueden deducir conclusiones similares cuando se realizó el análisis de la Figura 17.

Como resumen general del análisis del MTTR se muestra la Tabla 6 en el cual se pueden apreciar los valores individuales mensualizados por cada modelo de equipo y flota en general, el modelo CAT793C presentó un MTTR de 2.20 Hrs/rep y la flota CAT793D un MTTR de 3.99 Hrs/rep, se podría concluir que el personal de ejecución realiza reparaciones más rápidas en la flota CAT793C o también que se presentan fallas repetitivas que no son solucionadas, es decir la baja calidad de las reparaciones.

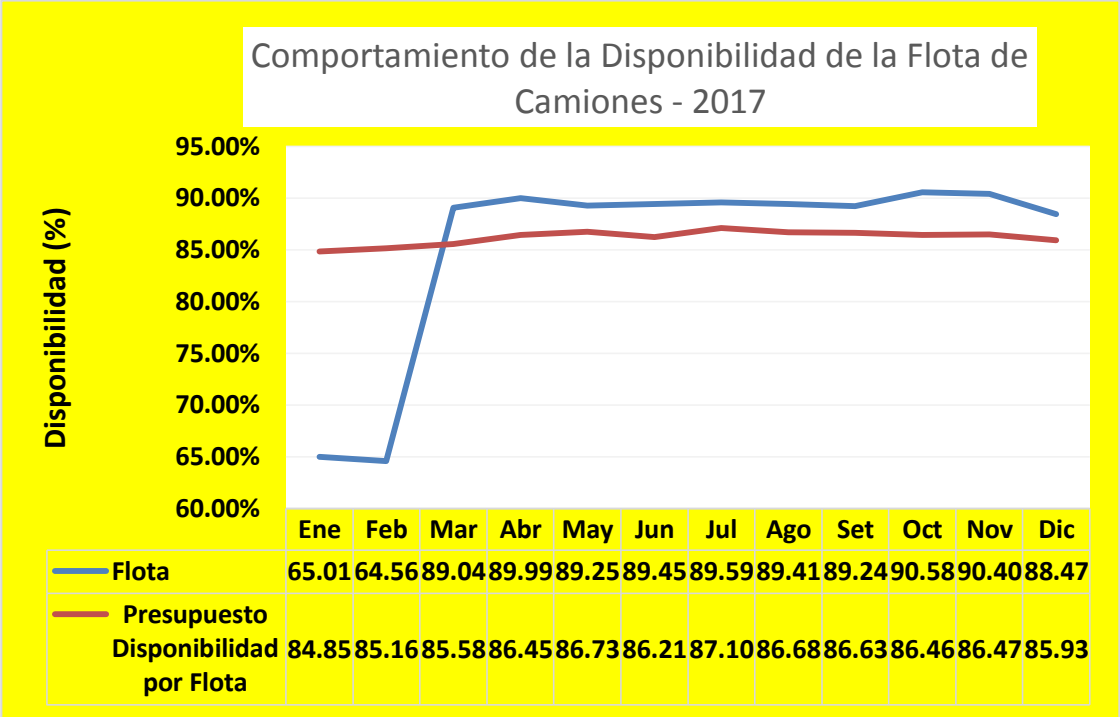
Tabla 6: Cuadro resumen del MTTR por Flota durante el 2017

MTTR (Horas / Rep)	793C	793D	Flota
Ene	5.28	11.39	8.73
Feb	2.69	10.76	7.46
Mar	1.90	1.50	1.70
Abr	1.79	1.80	1.80
May	1.85	1.34	1.60
Jun	1.28	1.63	1.47
Jul	2.04	1.42	1.73
Ago	1.72	1.76	1.74
Set	1.67	2.35	2.02
Oct	1.64	1.38	1.50
Nov	1.59	1.71	1.65
Dic	1.99	1.78	1.88
Total	2.20	3.99	3.13

Si deseamos evaluar el MTTR del año 2017, el cual representa el nivel de gestión del área de mantenimiento, podremos concluir en que se obtuvo un indicador de la flota de 3.13 Hrs/rep, de acuerdo al Caterpillar Handbook, este valor Benchmarking debería encontrarse entre 3 y 6 horas/reparación teóricamente, para nuestro estudio se encuentra cerca del límite inferior lo que estaría significando que se tienen muchas paradas de equipos con corta duración, esto está condicionado por dos factores elementales 1) La baja confiabilidad de los equipos y 2) La baja calidad de las reparaciones; en ambos casos se demuestra que existe un problema crónico en los equipo cuya solución será abordado dentro de este estudio de investigación.

3.2.2. Análisis de la disponibilidad operativa

Con respecto al otro indicador clave dentro de nuestro proceso de análisis, que es la disponibilidad operativa, procedemos a desarrollar un análisis similar al del MTTR utilizando el método deductivo, en este caso la Figura 14 muestra el comportamiento de la disponibilidad durante todo el año 2017, donde se puede observar que durante los meses de enero y febrero no se logró alcanzar la disponibilidad presupuestada estando muy por debajo de su valor esperado de 84.5% y 85.16% respectivamente.



	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Flota	65.01	64.56	89.04	89.99	89.25	89.45	89.59	89.41	89.24	90.58	90.40	88.47
Presupuesto Disponibilidad por Flota	84.85	85.16	85.58	86.45	86.73	86.21	87.10	86.68	86.63	86.46	86.47	85.93

Figura 14: Tendencia de la Disponibilidad Operativa de la Flota de Camiones - 2017

Posteriormente se observa una mejora significativa de la disponibilidad a partir del mes de marzo superando hasta en cuatro puntos porcentuales a la disponibilidad presupuestada (ver Tabla 7) demostrando que se tomaron algunas decisiones estratégicas dentro del área de mantenimiento para mejorar el desempeño de la flota de camiones.

En la Figura 15 se puede apreciar que el modelo de camiones CAT793D es el que presentó menores valores de disponibilidad durante los meses de enero y febrero encontrándose en valores de 48.58% y 46.56% respectivamente, a partir de los siguientes meses la disponibilidad de este modelo incrementa a valores superiores a 86.86%. De acuerdo a las consultas realizadas al personal de Planeamiento y estrategia, se obtuvo como información que el resultado de esta mejora se debió a que se identificaron los equipos del modelo CAT793D que presentaban baja confiabilidad las mismas que fueron retiradas de la operación para ser reemplazadas por otros equipos del modelo CAT793C.

Se debe tener en cuenta que la ventaja de contar con esta posibilidad de intercambiar los equipos es un caso particular de la empresa por cuestiones internas, sin embargo, no se aplica de la misma manera en otras realidades mineras.

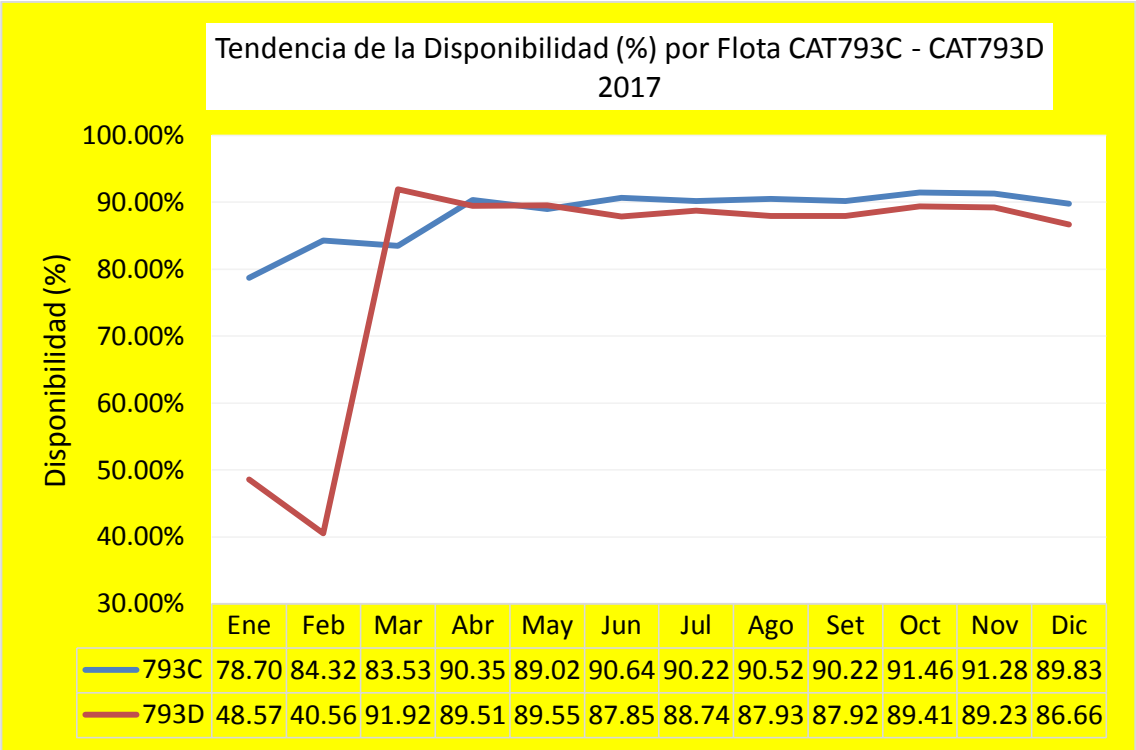


Figura 15: Tendencia de la disponibilidad Operativa por Flota CAT793C y CAT793D

En ambos casos la disponibilidad operativa se encuentra mayor a lo presupuestado de 86.94% a partir del mes de abril del 2017 para ambos modelos de equipos lo que demuestra un buen desempeño de los equipos luego de la implementación de la estrategia de reemplazo de equipos con baja confiabilidad por otros con mayor confiabilidad y de características operativas similares.

La Tabla 7 muestra el resumen de la disponibilidad operativa para toda la flota de camiones durante el año 2017, el cual tiene un valor de 85.83% el cual es menor a lo presupuestado de 86.94% en 1.11%, esto debido a la baja disponibilidad de la flota durante los dos primeros meses de operación.

Tabla 7: Cuadro resumen de la Disponibilidad Operativa por Flota durante el 2017

Disponibilidad (%)	793C	793D	Flota	Presupuesto Disponibilidad por Flota	Variación de Disponibilidad
Ene	78.70%	48.57%	65.01%	84.85%	-19.84%
Feb	84.32%	40.56%	64.56%	85.16%	-20.60%
Mar	83.53%	91.92%	89.04%	85.58%	3.46%
Abr	90.35%	89.51%	89.99%	86.45%	3.54%
May	89.02%	89.55%	89.25%	86.73%	2.52%
Jun	90.64%	87.85%	89.45%	86.21%	3.24%
Jul	90.22%	88.74%	89.59%	87.10%	2.49%
Ago	90.52%	87.93%	89.41%	86.68%	2.73%
Set	90.22%	87.92%	89.24%	86.63%	2.61%
Oct	91.46%	89.41%	90.58%	86.46%	4.12%
Nov	91.28%	89.23%	90.40%	86.47%	3.93%
Dic	89.83%	86.66%	88.47%	85.93%	2.54%
Total	88.66%	82.39%	85.83%	86.94%	-1.11%

Como conclusión general del análisis del indicador de los tiempos promedios de reparación (MTTR) y de la disponibilidad operativa, podemos mencionar que, si bien es cierto que luego de la mejora significativa de la disponibilidad a partir del mes de marzo de 2017, es posible incrementar aún más dicha disponibilidad mediante la implementación de un plan de mejora dentro del proceso de reparación considerando una de las conclusiones obtenidos del análisis del MTTR donde se menciona como

una de las causas de la alta frecuencia de paradas de los equipos, la baja calidad de las reparaciones realizadas por el personal de ejecución.

3.2.3. Correlación entre los tiempos promedios de reparación y la disponibilidad operativa

Para el análisis de correlación entre los tiempos promedios de reparación (MTTR) y la Disponibilidad Operativa se han considerado los resultados durante el ejercicio del año 2017 para toda la flota de camiones el cual se muestra en la Tabla 8

Tabla 8: Resultados del MTTR y la Disponibilidad Operativa

Mes	MTTR	Disponibilidad
Ene	8.7334	0.6501
Feb	7.4641	0.6456
Mar	1.7031	0.8904
Abr	1.7955	0.8999
May	1.5965	0.8925
Jun	1.4685	0.8945
Jul	1.7285	0.8959
Ago	1.7425	0.8941
Set	2.0237	0.8924
Oct	1.4997	0.9058
Nov	1.6543	0.9040
Dic	1.8774	0.8847

Como se analizó anteriormente durante los meses de enero y febrero del 2017 se presentaron valores elevados de los tiempos promedios de reparación, así como valores bajos de la disponibilidad operativa, no mostrándose uniformes a lo largo del año esto justificado en las fallas esporádicas que se presentaron durante estos meses de evaluación.

En base a esta información se realizó el diagrama de correlación lineal obteniendo el cual es mostrado en la Figura 16.

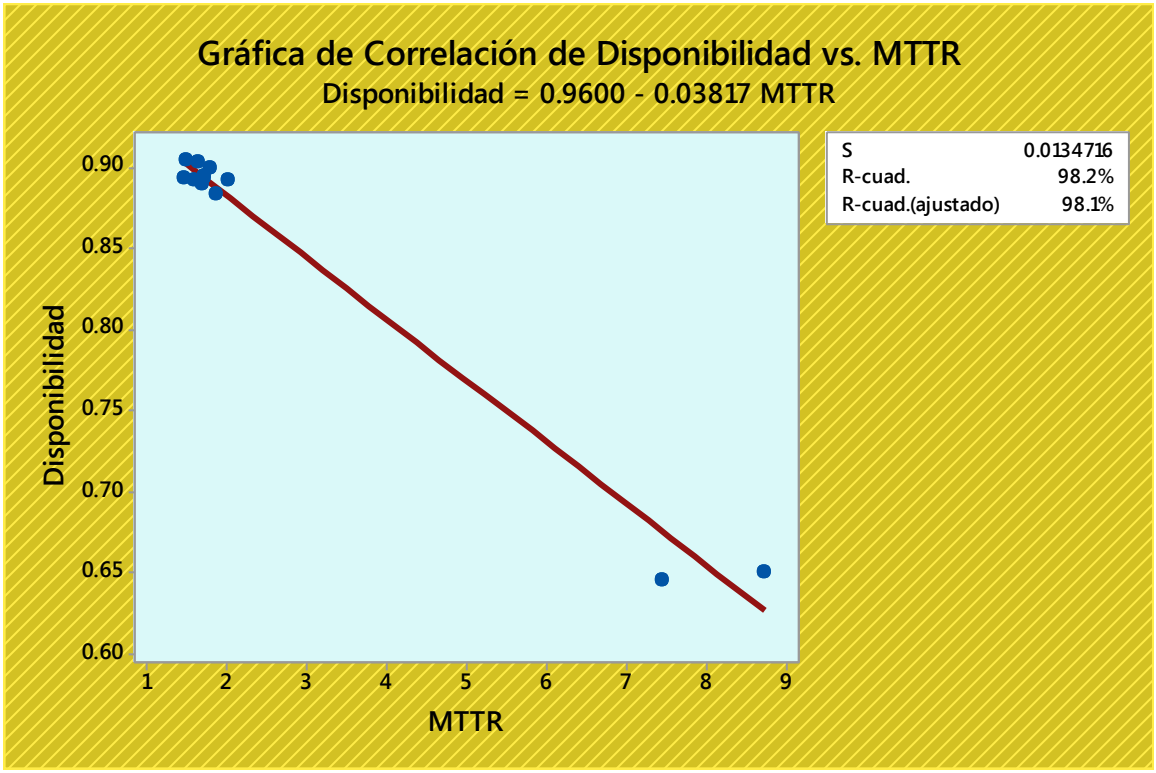


Figura 16: Gráfica de Correlación de MTTR y Disponibilidad Operativa considerando datos extremos

De acuerdo a esta gráfica la correlación presenta una pendiente negativa con un nivel de confiabilidad del 98.1% lo que indica una elevada fuerza de correlación, sin embargo, al observar la gráfica de la dispersión de los datos, estos se manifiestan distantes por lo que fue necesario realizar el análisis discriminando los datos puntuales que se obtuvieron durante los dos primeros meses del año 2017.

De acuerdo a la Figura 17, considerando que se han eliminado los datos extremos de los primeros meses del año, se puede apreciar que el nivel de confiabilidad de la correlación es del 21.7% mostrando también una pendiente negativa, este resultado es el que mejor representa la correlación debido a que se está analizando el comportamiento normal de los datos obtenidos durante el año 2017.

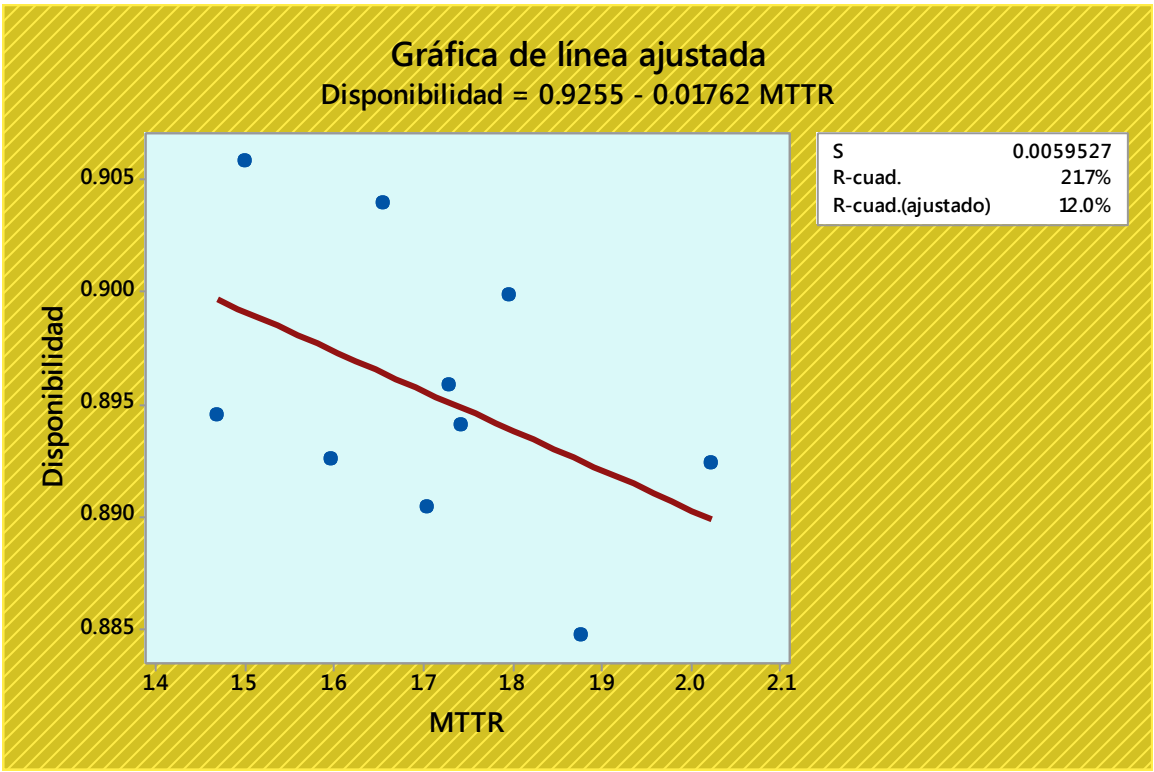


Figura 17: Gráfica de Correlación de MTTR y Disponibilidad Operativa sin considerar datos extremos

De acuerdo a este resultado se puede apreciar que la fórmula de regresión lineal que relaciona las dos variables de estudio de los tiempos promedios de reparación y la disponibilidad operativa viene dado por la siguiente expresión:

Disponibilidad Operativa = 0.9255 - 0.01762 * MTTR

En base a este resultado se determina que la disponibilidad operativa máxima será de 92.55% para un determinado periodo (considerar que la diferencia del 100% está afectado por las paradas programadas que se dan en la flota de camiones. Además, se aprecia que mientras se incremente en una hora los tiempos promedios de reparación (MTTR) la disponibilidad operativa disminuirá en 0.01762 lo que afectará la producción de la flota de camiones CAT 793 por tener menos horas disponibles para al acarreo de material.

3.2.4. Desempeño de la productividad de la Flota de Camiones CAT 793

Para evaluar la productividad de la flota de camiones CAT793 fue necesario realizar la comparación entre la producción de las toneladas movidas durante el año 2017 y su relación con la disponibilidad operativa.

La Figura 18, muestra el desempeño de ambos parámetros de manera mensual donde se puede apreciar que la producción no tiene una relación estricta con el desempeño de la disponibilidad, esto puede justificarse debido a que por tratarse de una operación minera donde los desplazamientos de las unidades varían con frecuencia en distancia y tiempo de acarreo del material a trasladar, la producción está condicionada más a un plan estratégico de producción propuesto por el área de operaciones, donde el área de mantenimiento, como área auxiliar, debe soportar al proceso entregando la mayor cantidad de disponibilidad posible para cumplir con dicho plan de producción.

Sin embargo, se puede apreciar que, en los inicios del año, la producción ha sido afectada por la baja disponibilidad de la flota de camiones CAT793, por lo que también posterior a ello se aplicó un plan de recuperación de producción en los siguientes meses, posiblemente acortando distancias de recorrido con la finalidad de cumplir con el plan de producción.

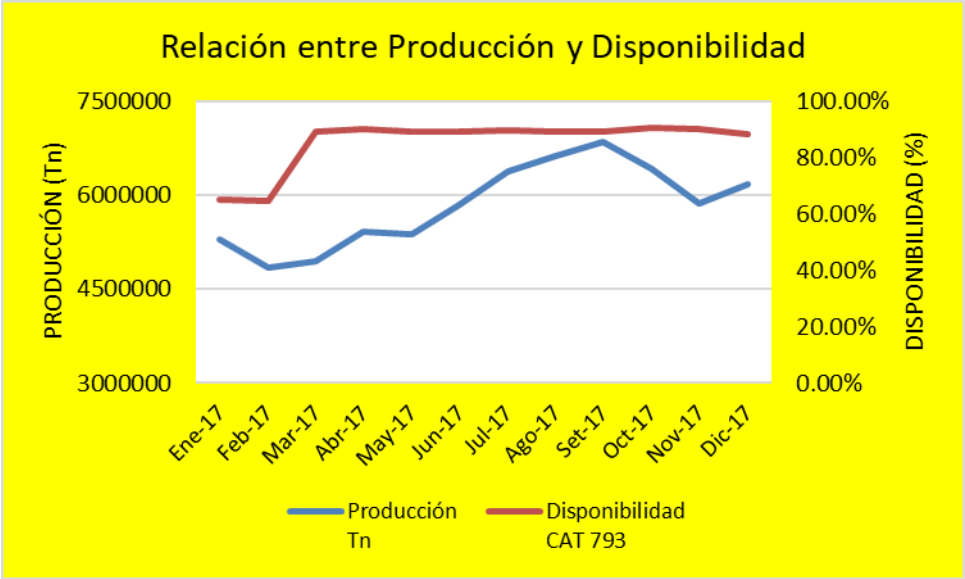


Figura 18: Relación entre la producción de movimiento de tierra y la disponibilidad

La Figura 19, muestra la relación existente entre la disponibilidad operativa y los costos de producción por cada tonelada movida, considerando para ello los costos de operación y mantenimiento.

De acuerdo a este resultado, se puede apreciar que los costos de producción han presentado una tendencia descendente durante los meses del año 2017desde los 3.86 $/Ton (enero) hasta los 2.44 $/Ton (diciembre), esto puede estar justificado también por la baja disponibilidad en los primeros meses lo que elevó los costos de mantenimiento así como los costos operativos al tener que recuperar la producción por efecto de la baja disponibilidad de la flota de camiones, posteriormente la mejora en la disponibilidad también reduce los costos operativos por cada tonelada movida.

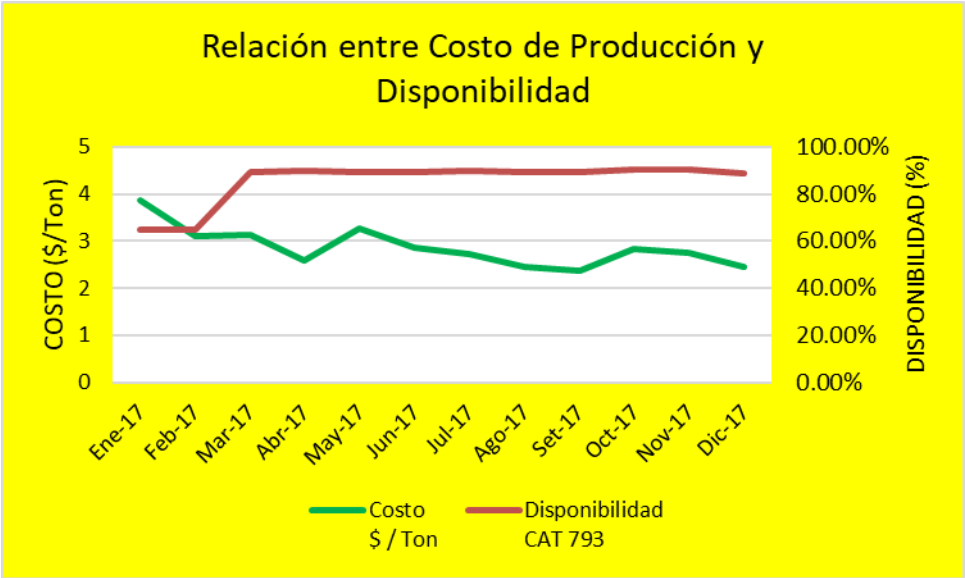


Figura 19: Relación entre los costos de producción y la disponibilidad operativa

La productividad viene a ser el resultado de comparar los recursos utilizados con la producción obtenida, para este trabajo se considera a la productividad los dólares por tonelada movida lo que ha presentado una mejora a lo largo del 2017 como efecto de un mejor desempeño de la disponibilidad operativa, por lo que los esfuerzos tienen que estar enfocados en incrementar la disponibilidad como consecuencia de las mejores prácticas de mantenimiento y operación.

3.3. Discusión de Resultados

Como parte del desarrollo del presente trabajo se han cubierto todos los objetivos principales descritos en la parte inicial, para ello dentro del análisis e interpretación de los resultados y mediante el análisis de las guías de observación se han identificado hasta cuatro factores claves que nos permiten evaluar y dimensionar las brechas entre lo real y el objetivo de cada uno de sus causas. Por ejemplo, para el caso del proceso de evaluación y gestión de los equipos en falla, se ha determinado que existen oportunidades de mejora en cuanto al desarrollo y cumplimiento de los procesos de atención de los equipos, así mismo se identificó que el diagnóstico preliminar indicado por el dispatch presenta falencias por lo que existen demoras para prever los recursos necesarios para una reparación rápida con calidad.

En cuanto a la planificación de los equipos en falla, se determinó que el área de planificación no está soportando adecuadamente para facilitar la ejecución de los trabajos, del mismo modo la estimación indicada por el personal de ejecución no se ajusta a la realidad posiblemente por falta de experiencia del personal.

En el caso de los repuestos y materiales, el mayor problema reside en que no existe un adecuado orden, codificación y almacenamiento de éstos lo que genera retrasos en el proceso, y por último con respecto a los recursos humanos disponibles se ha determinado que se carecen de competencias necesarias para el diagnóstico de las fallas, así como la falta de competencias prácticas para la ejecución de las reparaciones.

Todos estos factores analizados de las guías de observación en campo nos dan una idea general acerca de la situación actual del proceso de ejecución de las tareas no programadas, información que será de gran utilidad cuando se requiera identificar las acciones correctivas para mejorar los indicadores principales de la gestión de mantenimiento de la flota de camiones CAT 793 (Boero, 2009)

El tiempo promedio de reparación a lo largo del año 2017 fue de 3.13 Horas/reparación para toda la flota de camiones CAT 793 lo que de acuerdo a los estándares de Caterpillar se encuentra por debajo de lo recomendado

debiendo ser al menos 4 Horas/reparación (Caterpillar INC., 2005). Esto nos permite concluir que muchos de los trabajos realizado por eventos de fallas en campo tienen una naturaleza crónica, lo que quiere decir que existe baja calidad en el proceso de reparación por parte del área de ejecución (García O. , Gestión Integral de Mantenimiento Basado en Confiabilidad, 2017).

El análisis de la disponibilidad operativa para la flota de camiones CAT 793 nos permite determinar el impacto que los tiempos promedios de reparación causan al tener menor tiempo de horas de producción de los equipos, lo que se traduce en una reducción de la producción en toneladas movidas, así como el incremento de los costos de mantenimiento por efecto del cambio de los repuestos dañados y el uso de la mano de obra calificada para realizar las reparaciones respectivas.

En base a ello se han realizado tres estudios independientes, el primero de ellos fue el de comparar la disponibilidad operativa presupuestada con la disponibilidad real de la flota de camiones, esto debido a que como objetivo del área de mantenimiento se debe asegurar cumplir el presupuesto de la disponibilidad y no exceder tampoco su valor por daría una indicación de que se están incurriendo en mayores gastos de mantenimiento de los equipos por efecto de tener un mayor número de unidades si necesidad de producir (Torres, 2015). De acuerdo a ello se identificó que la disponibilidad anual del 2017 estuvo 1.11% por debajo de lo presupuestado, habiendo impactado la severa reducción de la disponibilidad durante los primeros meses del año causadas por fallas esporádicas de los equipos.

El segundo análisis consistió correlacionar la disponibilidad operativa con los tiempos promedios de reparación. Considerando que un mayor valor en los tiempos de reparación impacta en la cantidad de las horas operativas, esta relación debe ser negativa (García G. , 2013), por lo que luego del análisis respectivo se determinó que la relación está representada por la siguiente expresión:

$$\text{Disponibilidad Operativa} = 0.9255 - 0.01762 * \text{MTTR}$$

Lo que nos indica que, bajo los parámetros históricos analizados durante el 2017, la disponibilidad máxima será de 92.55% cuando se logre tener una flota

libre de paradas correctivas o no programadas y por cada hora en promedio de reparación, se impactará en 1.762%.
De esta manera sustentamos que efectivamente el impacto en la disponibilidad por parte de los tiempos de reparación presenta una relación indirecta con una confiabilidad del 21.7%

Otro de los factores analizados fue la productividad de la flota de camiones CAT793, en el cual se realizó la comparación entre las toneladas movidas (producción) y la disponibilidad operativa, en ella se puede verificar que la producción no tiene relación directa con la disponibilidad debido a que está más relacionada a políticas y estrategias de uso de los camiones para lograr el plan de producción presupuestado por el área de operaciones mina.
Sin embargo, al relacionar el costo de operación por tonelada movida ($/Ton) se puede concluir que un mejor desempeño en la disponibilidad permite obtener menores costos de operación y mantenimiento lo que justica los conceptos teóricos acerca de que una estrategia de mantenimiento enfocado en la confiabilidad y mantenibilidad de los equipos permitirá asegurar una mayor disponibilidad de los mismos con la finalidad de lograr ahorro en costos operativos totales (Boero, 2009).

CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Luego de haber analizado el proceso de reparación de la flota de camiones mediante las guías de observación se identificó que el proceso de atención de los equipos no se realiza de acuerdo a los procedimientos establecidos, existe deficiencia del área de planificación para soportar adecuadamente el proceso de reparación debido a fallas correctivas, no se está siguiendo las buenas práctica de orden y limpieza para un mejor desempeño del proceso de reparación y que los tiempos comprometidos por el personal de ejecución no se cumplen debido a desviaciones durante el proceso de reparación

- De acuerdo al cálculo de los tiempos promedios de reparación – MTTR, durante el año 2017 este se ha encontrado en 3.13 Hrs/ Rep para toda la flota de camiones, debiendo ser su mínimo valor de 3.0 Hrs/rep, de acuerdo a ello se concluye que se encuentra cerca del límite inferior producto de paradas frecuentes de los equipos. Con respecto a la disponibilidad operativa de la flota de camiones del año 2017, este se ha encontrado en 85.83%, encontrándose 1.1% por debajo de lo presupuestado, esto debido principalmente a la baja disponibilidad operativa durante los tres primeros meses del año 2017 debido a fallas esporádicas.

- La correlación entre los tiempos promedios de reparación (MTTR) y la disponibilidad operativa está definida por la siguiente ecuación: Disponibilidad Operativa = 0.9255 - 0.01762 * MTTR, que muestra una pendiente negativa indicando que mientras más se demoren en reparar los equipos la disponibilidad operativa se verá disminuido.

4.2. Recomendaciones

- El análisis de los resultados encontrados como parte del proceso de investigación de este trabajo permitirá sentar un precedente de los valores de los tiempos promedios de reparación – MTTR y de la disponibilidad operativa para que puedan ser comparados con otras realidades cuyo contexto operativo sean similares permitiendo con ello que se desarrolle el proceso de benchmarking empresarial.

- Se sugiere tomar como iniciativa el análisis de los tiempos que demanda cada actividad del mantenimiento correctivo, esto con la finalidad de determinar la actividad que consume mayor tiempo dentro de todo el proceso de reparación identificando las oportunidades de mejora como parte de la implementación del sistema SMED.

- Desarrollar un plan de capacitaciones tanto a los operadores como al personal técnico, donde se considerarse la participación del personal de planeamiento y estrategia para presentar los casos más comunes de fallas encontradas, así como las deficiencias de calidad. Para ello este personal también debe ser entrenado como facilitadores para el dictado de estas capacitaciones.

- Realizar un levantamiento del mapa de proceso como parte del proceso de investigación que debe ser presentado a la superintendencia de mantenimiento con la finalidad de identificar oportunidades de mejora en conjunto para reducir los retrabajos entre las áreas participantes así como asegurar que la información y comunicación sean confiables y almacenadas correctamente, por ejemplo: Una mala descripción y asignación de los estados de paradas generará que los indicadores diarios propuestos se distorsionen generando posiblemente falsas alarmas.

REFERENCIAS

América Economía. (10 de Octubre de 2017). *América economía*. Obtenido de https://goo.gl/Th3iMu

Anónimo. (06 de Mayo de 2018). *Seguridad e Higiene*. Obtenido de https://www.pinterest.es/pin/794463190485346003/: https://www.pinterest.es/pin/794463190485346003/

Boero, C. (2009). *Mantenimiento industrial.* Argentina: Jorge Sarmiento Editor.

Carlson, S. (2012). *Effective FMEAS: Achieving safe, reliable and economical products and processes using Failure mode and effects Analysis.* New Jersey: Wiley.

Caterpillar INC. (2005). *Performance Metrics for Mobile Mining Equipment.* USA: Caterpillar.

Felipe, L. (18 de Octubre de 2017). *Confiabilidad Integral del Activo*. Obtenido de Confiabilidad Integral del Activo: https://goo.gl/3E7hvp

Garcés, M. (2011). *Optimización del Mantenimiento Preventivo en función del costo en la empresa Bioalimentar CIA LTDA.* Ecuador: Tesis de Grado sin publicar, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

García, G. (2013). *Ingeniería de Mantenimiento, manual práctico para la gestión eficaz del mantenimiento industrial.* España: Renovotec.

García, O. (2012). *Gestión moderna del mantenimiento industrial.* Colombia: Ediciones de la U.

García, O. (17 de Octubre de 2017). *Gestión Integral de Mantenimiento Basado en Confiabilidad*. Obtenido de Gestión Integral de Mantenimiento Basado en Confiabilidad: https://goo.gl/7mdvpe

Garcia, S. (2003). *Organización y gestión integral de mantenimiento.* Madrid: Diaz de Santo S.A.

Hernández, J., & Vizán, A. (2013). *Lean Manufacturing, conceptos, técnicas e implantación.* Madrid: Fundación EOI.

Hernández, R. (2014). *Metodología de la Investigación.* México: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A.DE C.V.

Huamán, G. (2011). *Propuesta de un plan de mejora en el proceso de mantenimiento de la flota de camiones CAT 793 para aumentar el intervalo de tiempo de la primera parada después del mantenimiento preventivo.* Cajamarca: Tesis de grado sin publicar, Universidad Privada del Norte.

Huamán, G. (2017). *La matriz de modos de falla, efectos y criticidad – FMECA enfocado en el perfil de riesgos de los activos físicos.* Lima: Trabajo Técnico expuesto en el 17° Congreso de Mantenimiento - Ipeman.

Mejía, H. (2014). *Optimización de la programación del mantenimiento de activos de transmisión de energías en ambientes altamente restrictivos y mercado regulado.* Colombia: Tesis de maestría sin publicar, Universidad Nacional de Colombia.

Moubray, J. (2004). *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.* North Carolina: Edwards Brothers.

Perez, Rodriguez, & Sancho. (2007). *Mantenimiento de Máquinas.* España: Universidad Jaime I.

Pockels, C. (27 de Enero de 2018). *Caletec*. Obtenido de SIPOC – Mapa de proceso a alto nivel: http://www.caletec.com/blog/otros/sipoc-mapa-de-proceso-a-alto-nivel/

Rivera, J. (2015). *Modelo de toma de decisiones de mantenimiento para evaluar impactos en disponibilidad, mantenibilidad, confiabilidad y costos.* Chile: Tesis de maestría sin publicar, Universidad de Chile.

Rodriguez, M. (2012). *Propuesta de mejora de la gestión de mantenimiento basado en la mantenibilidad de equipos de acarreo de una empresa minera de Cajamarca.* Cajamarca: Tesis de grado sin publicar, Universidad Privada del Norte.

Rodriguez, V. (21 de Octubre de 2013). *Estrategias de mantenimiento y reparación de los equipos utilizados en minería*. Obtenido de https://goo.gl/sxy27c

Seguridad Minera. (18 de Octubre de 2017). *Análisis de no disponibilidad de los equipos*. Obtenido de Análisis de no disponibilidad de los equipos: https://goo.gl/eQeqwG

Torres, L. (2015). *Gestión Integral de Activos Físicos y Mantenimiento.* Córdoba: Marcombo S.A.

Watkins, S., & Orchiston, N. (2016). *ISO 9001-2015 A pocket guide.* Bran Bretaña: IT Gobernance Publishing.

Wikipedia. (03 de Diciembre de 2017). *Curva de Aprendizaje*. Obtenido de Curva de Aprendizaje: https://goo.gl/k2nwFw

ANEXOS

1. **Formato de Validación de Instrumentos de Investigación**

FORMATO DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

Título del Proyecto:

"PROPUESTA DE UN PLAN DE MEJORA EN LOS PROCESOS DE REPARACIÓN DE LA FLOTA DE CAMIONES CAT 793 PARA AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD OPERATIVA DE MINERÍA A TAJO ABIERTO EN MINERA YANACOCHA S.R.L CAJAMARCA-2018"

Nombre del Interesado:

Fernando Gorbalan Perez

Expertos de la Validación:

- Ing. Frank Tello Legoas
- Ing. Giner Huamán Montañez
- MBA. Ing. Edwin Quiroz

Instrucciones: Determinar si los instrumentos utilizados como parte del proyecto reúnen los indicadores mencionados y evaluar por consenso si son excelentes, bueno, regular o deficientes, colocando un aspa (x) en el casillero correspondiente.

N°	Instrumento	Origen / Definición	Excelente	Muy Bueno	Bueno	Regular	Deficiente
1	Reportes de paradas de despatch	El reporte proviene de fuente confiable el cual se almacena en la base de datos del dispatch mediante el sistema Jigsaw	X				
2	Base de datos de trabajos realizados en SAP	La base de datos presentada de reporte de tareas de mantenimiento tiene confiabilidad por tener el origen en el sistema ERP - SAP	X				
3	Guías de Observación	Los formatos de la guía de observación de trabajo presentan orden, coherencia, extensión y claridad y precisión, así mismo la recopilación de la información es confiable		X			

Observaciones:

Por mutuo acuerdo consideramos que los instrumentos presentados pueden ser aplicados en la investigación.

Ing. Frank Tello L.
CIP. 142201

Ing. Giner Huamán M.
CIP. 142200

Ing. Edwin Quiroz
CIP. 184970

2. Instrumento de recolección de reporte de paradas de dispatch

Fecha	Equipo	nameb (Reason)	Flota	Tipo de Par	Tiempo
01-Ene	HT105	Maint 75000 SM - MANTENIMIENTO PREVENTIVO / PRC	793C	Planificado	1.17
01-Ene	HT119	Maint 42000 SM - RUEDAS Y LLANTAS	793C	Planificado	4.20
01-Ene	HT124	Maint 75000 SM - MANTENIMIENTO PREVENTIVO / PRC	793C	Planificado	3.08
01-Ene	HT120	Maint 42501 NP - SISTEMA DE FRENOS	793C	Correctivo	1.50
01-Ene	HT109	Maint 99999 NP - ACCIDENTE OPERACIONES	793C	Correctivo	0.98
01-Ene	HT153	Maint 12501 NP - SISTEMA DE COMBUSTIBLE	793D	Correctivo	0.68
01-Ene	HT119	Maint 75000 SM - MANTENIMIENTO PREVENTIVO / PRC	793C	Planificado	4.47
01-Ene	HT113	Maint 14501 NP - SISTEMA DE ARRANQUE	793C	Correctivo	0.52
01-Ene	HT143	Maint 10001 NP - MOTOR	793D	Correctivo	1.32
01-Ene	HT127	Maint 42001 NP - RUEDAS Y LLANTAS	793C	Correctivo	0.22
01-Ene	HT105	Maint 70501 NP - CHASIS GUARDAS Y PLATAFORMAS	793C	Correctivo	1.55
01-Ene	HT147	Maint 75000 SM - MANTENIMIENTO PREVENTIVO / PRC	793D	Planificado	0.48
01-Ene	HT119	Maint 70501 NP - CHASIS GUARDAS Y PLATAFORMAS	793C	Correctivo	2.03
01-Ene	HT134	Standby 999 OUT OF PLAN	793D	Correctivo	23.98
01-Ene	HT144	Standby 999 OUT OF PLAN	793D	Correctivo	23.98
01-Ene	HT145	Standby 999 OUT OF PLAN	793D	Correctivo	23.98
01-Ene	HT140	Standby 999 OUT OF PLAN	793D	Correctivo	23.98
01-Ene	HT154	Standby 999 OUT OF PLAN	793D	Correctivo	23.98
01-Ene	HT148	Standby 999 OUT OF PLAN	793D	Correctivo	23.98
01-Ene	HT129	Maint 75000 SM - MANTENIMIENTO PREVENTIVO / PRC	793C	Planificado	23.98
01-Ene	HT132	Standby 999 OUT OF PLAN	793D	Correctivo	23.98
01-Ene	HT138	Standby 999 OUT OF PLAN	793D	Correctivo	23.98
01-Ene	HT141	Maint 75000 SM - MANTENIMIENTO PREVENTIVO / PRC	793D	Planificado	23.98
01-Ene	HT150	Maint 75000 SM - MANTENIMIENTO PREVENTIVO / PRC	793D	Planificado	15.18
01-Ene	HT125	Standby 999 OUT OF PLAN	793C	Correctivo	23.98
01-Ene	HT123	Standby 999 OUT OF PLAN	793C	Correctivo	23.98
01-Ene	HT110	Maint 75000 SM - MANTENIMIENTO PREVENTIVO / PRC	793C	Planificado	0.02
02-Ene	HT142	Maint 75000 SM - MANTENIMIENTO PREVENTIVO / PRC	793D	Planificado	0.05
02-Ene	HT149	Maint 75000 SM - MANTENIMIENTO PREVENTIVO / PRC	793D	Planificado	0.83
02-Ene	HT126	Maint 72501 NP - TOLVA / TORRE / GANZO	793C	Correctivo	1.60
02-Ene	HT113	Maint 14501 NP - SISTEMA DE ARRANQUE	793C	Correctivo	0.37
02-Ene	HT142	Maint 42000 SM - RUEDAS Y LLANTAS	793D	Planificado	2.55
02-Ene	HT142	Maint 75000 SM - MANTENIMIENTO PREVENTIVO / PRC	793D	Planificado	0.17
02-Ene	HT136	Maint 99999 NP - ACCIDENTE OPERACIONES	793D	Correctivo	1.42
02-Ene	HT141	Maint 75000 SM - MANTENIMIENTO PREVENTIVO / PRC	793D	Planificado	6.12
02-Ene	HT143	Maint 10001 NP - MOTOR	793D	Correctivo	1.08
02-Ene	HT147	Maint 43001 NP - SISTEMA DE DIRECCION	793D	Correctivo	6.83
02-Ene	HT126	Maint 72501 NP - TOLVA / TORRE / GANZO	793C	Correctivo	1.65
02-Ene	HT109	Maint 99999 NP - ACCIDENTE OPERACIONES	793C	Correctivo	0.32
02-Ene	HT133	Maint 14001 NP - SISTEMA ELECTRICO	793D	Correctivo	0.65
02-Ene	HT137	Maint 10000 SM - MOTOR	793D	Planificado	0.33
02-Ene	HT126	Maint 72001 NP - SUSPENSION Y GATAS	793C	Correctivo	0.65
02-Ene	HT127	Maint 72001 NP - SUSPENSION Y GATAS	793C	Correctivo	2.55
02-Ene	HT126	Maint 72001 NP - SUSPENSION Y GATAS	793C	Correctivo	0.95
02-Ene	HT128	Maint 10001 NP - MOTOR	793C	Correctivo	0.03
02-Ene	HT128	Maint 10001 NP - MOTOR	793C	Correctivo	0.67
02-Ene	HT147	Maint 43001 NP - SISTEMA DE DIRECCION	793D	Correctivo	0.25
02-Ene	HT128	Maint 10001 NP - MOTOR	793C	Correctivo	0.77
02-Ene	HT150	Maint 99999 NP - ACCIDENTE OPERACIONES	793D	Correctivo	0.57
02-Ene	HT141	Maint 70500 SM - CHASIS GUARDAS Y PLATAFORMAS	793D	Planificado	14.87
02-Ene	HT110	Maint 74001 NP - DISPOSITIVOS DE PROTECCION ALARI	793C	Correctivo	0.12
02-Ene	HT128	Maint 13501 NP - SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE MOTC	793C	Correctivo	0.90
02-Ene	HT115	Maint 73001 NP - CABINA	793C	Correctivo	0.35

3. Instrumento de recolección de datos de trabajos realizados – SAP

Descripción de Tarea	Año	Fecha	Costo ($)	Equipo
Cambiar Chasis	2017	31/01/2017	374,535.00	3000-20-40-00-HTK0107
(Chasis) Pedido basico mecanico cataloga	2017	31/10/2017	154,001.92	3000-20-40-00-HTK0114
(Chasis) Pedido complemen mecanico catal	2017	31/10/2017	110,267.41	3000-20-40-00-HTK0114
(Chasis) Pedido complemen mecanico catal	2017	30/06/2017	108,938.38	3000-20-40-00-HTK0123
Provision Enero pago servicios Soldadura	2017	31/01/2017	83,719.83	3000-20-40-00
Provision Enero pago servicios Soldadura	2017	28/02/2017	83,719.83	3000-20-40-00
Provision Enero pago servicios Soldadura	2017	31/03/2017	83,719.83	3000-20-40-00
Provision Enero pago servicios Soldadura	2017	30/04/2017	83,719.83	3000-20-40-00
Provision Enero pago servicios Soldadura	2017	31/05/2017	83,719.83	3000-20-40-00
Provision Enero pago servicios Soldadura	2017	30/06/2017	83,719.83	3000-20-40-00
Provision Enero pago servicios Soldadura	2017	31/07/2017	83,719.83	3000-20-40-00
Provision Enero pago servicios Soldadura	2017	31/08/2017	83,719.83	3000-20-40-00
Provision Enero pago servicios Soldadura	2017	30/09/2017	83,719.83	3000-20-40-00
Provision Enero pago servicios Soldadura	2017	31/10/2017	83,719.83	3000-20-40-00
Provision Enero pago servicios Soldadura	2017	30/11/2017	83,719.83	3000-20-40-00
OT GENERICA - CONSUMO DE LLANTAS 2017	2017	30/06/2017	65,978.04	3000-20-40-00-HTK0138
Instalacion aros y accesorios Pos 1 al 6	2017	30/06/2017	62,975.31	3000-20-40-00-HTK0123
Instalacion aros y accesorios Pos 1 al 6	2017	31/07/2017	62,975.31	3000-20-40-00-HTK0125
Instalacion de aros Topy Pos 01-06	2017	31/10/2017	62,975.30	3000-20-40-00-HTK0114
Cambio de aros-Instalar aros Topy P.1-6	2017	30/11/2017	62,975.30	3000-20-40-00-HTK0121
Cambio de aros Pos.01 al 06(Inst. Topy)	2017	31/08/2017	62,975.29	3000-20-40-00-HTK0135
Ot´Generica Servicios otros	2017	30/06/2017	51,360.30	3000-20-40-00-HTK0120
ACCESORIOS & CONSUMIBLES LLANTAS-2017	2017	31/01/2017	51,030.20	3000-20-40-00-HTK0127
OT GENERICA - CONSUMO DE LLANTAS 2017	2017	30/06/2017	50,868.42	3000-20-40-00-HTK0154
Instalacion aros y accesorios Pos 1 al 6	2017	31/05/2017	49,010.58	3000-20-40-00-HTK0123
Instalacion aros y accesorios Pos 1 al 6	2017	31/05/2017	48,732.35	3000-20-40-00-HTK0125
(Chasis) Cambiar funda diferencial	2017	30/04/2017	45,312.54	3000-20-40-00-HTK0125
Ot´Generica Servicios otros	2017	31/07/2017	43,723.02	3000-20-40-00-HTK0141
Cambio A Frame 793D	2017	28/02/2017	43,556.43	3000-20-40-00-HTK0146
Cambiar "Y" & Pin y Bearing A Frame	2017	30/04/2017	42,774.00	3000-20-40-00-HTK0130
Cambio A Frame 793D	2017	30/04/2017	42,774.00	3000-20-40-00-HTK0149
Cambiar Radiador	2017	31/05/2017	42,585.83	3000-20-40-00-HTK0152
Ot´Generica Servicios otros	2017	30/11/2017	42,011.93	3000-20-40-00-HTK0121
Cambio de funda del diferencial	2017	31/01/2017	41,846.10	3000-20-40-00-HTK0135
Ot´Generica Servicios otros	2017	30/09/2017	40,792.19	3000-20-40-00-HTK0153
(Chasis) Pedido basico electrico catalog	2017	31/10/2017	39,836.80	3000-20-40-00-HTK0114
(Chasis) Cambiar funda diferencial	2017	30/04/2017	35,537.51	3000-20-40-00-HTK0123
CAMBIO DE HOUSING DE DIFERENCIAL	2017	31/10/2017	35,537.51	3000-20-40-00-HTK0114
(Chasis) Pedido complemen mecanico catal	2017	30/11/2017	34,527.26	3000-20-40-00-HTK0117
Cambiar Cilindro Suspension Post Derecho	2017	31/01/2017	32,071.78	3000-20-40-00-HTK0126
Cambiar Cilindro Suspension Post Izquie	2017	31/01/2017	32,071.77	3000-20-40-00-HTK0126
REGULARIZACION ITEM FALLIDO MAY-JUN 2016	2017	31/03/2017	31,337.63	3000-20-40-00-HTK0145
(Chasis) Cbiar Cilind Susp Delant Izqui	2017	30/04/2017	28,341.24	3000-20-40-00-HTK0125
Cambiar Radiador	2017	30/11/2017	28,000.00	3000-20-40-00-HTK0110
EPP CAMIONES 2017	2017	31/12/2017	26,998.62	3000-20-40
Cambiar llanta Pos 01 (Repair)	2017	31/08/2017	26,370.49	3000-20-40-00-HTK0151
(Chasis) Cambiar Tanque de Combustible	2017	30/04/2017	25,217.98	3000-20-40-00-HTK0125
Cambio paquete freno mando final LH	2017	30/11/2017	23,384.86	3000-20-40-01-HTK0064
Cambio A Frame 793D	2017	31/10/2017	23,049.40	3000-20-40-00-HTK0151
Cambio A Frame 793C	2017	30/11/2017	23,049.40	3000-20-40-00-HTK0124
EPP CAMIONES 2017	2017	30/06/2017	22,882.77	3000-20-40
Cambio A Frame 793D	2017	31/08/2017	22,596.81	3000-20-40-00-HTK0138
Cambio A Frame 793C	2017	31/05/2017	22,508.58	3000-20-40-00-HTK0113
Cambio A Frame 793D	2017	30/04/2017	22,420.49	3000-20-40-00-HTK0150
(Chasis) Cambio A Frame 793C	2017	30/04/2017	22,420.48	3000-20-40-00-HTK0125

4. Instrumento de Guías de observación de la ejecución del mantenimiento

GUÍA DE OBSERVACIÓN DE LA EJECUCIÓN DEL TRABAJO DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO

El presente formato es una guía para determinar el nivel de cumplimiento de los factores claves para ejecutar una tarea de mantenimiento correctivo dentro del área de mantenimiento:

Observador: Fernando Gorbalan Perez

Fecha: 20/05/18

Área: Mantenimiento Mina Campo

Guardia: "D": 4x4 N° Observación: 10

I. Proceso de evaluación y Gestión de equipo en Falla

Observación	Siempre	A veces	Casi Nunca	Nunca
1.- El distpatch de mantenimiento comunica de manera oportuna que el equipo se encuentra en falla	X			
2. El supervisor de turno asigna oportunamente el personal técnico para la atención del equipo		X		
3.- El equipo es atendido inmediatamente cuando llega a taller de mantenimiento			X	
4.- El diagnóstico preliminar de falla indicado por el dispatch es siempre el acertado		X		
5.- El proceso de atención de los equipos está acorde al proceso de atención de los equipos		X		

II. Planificación del Equipo en Falla

Observación	Siempre	A veces	Casi Nunca	Nunca
1.- La estimación de las horas de reparación son siempre acertadas			X	
2. La cantidad del personal para la atención del equipo es correcta		X		
3.- Existen procedimientos y manuales para el diagnóstico de la falla			X	
4.- El pedido de repuestos se realiza de manera oportuna y correcta		X		
5.- El área de planificación soporta adecuadamente el proceso de fallas correctivas		X		

III. Repuestos, Materiales y Herramientas

Observación	Siempre	A veces	Casi Nunca	Nunca
1.- Los repuestos necesarios se encuentran disponibles en el almacén		X		
2. Los materiales son los suficientes para la atención de la reparación		X		
3.- Las herramientas se encuentran en condiciones óptimas para utilizarlas	X			
4.- Se mantiene el orden y la limpieza durante el proceso de reparación del equipo en falla			X	
5.- Los equipos de diagnóstico son efectivos al momento de analizar la falla		X		

IV. Recursos Humanos

Observación	Siempre	A veces	Casi Nunca	Nunca
1.- El personal técnico cuenta con las competencias necesarias para el diagnóstico de las fallas	X			
2. El personal técnico cuenta con las competencias necesarias para realizar el proceso de reparación		X		
3.- El personal técnico se siente motivado cuando ejecuta una tarea de reparación			X	
4.- El tiempo de entrega comprometido de reparación se cumple por el personal técnico				X
5.- El supervisor conoce del funcionamiento y diagnóstico de los equipos en falla		X		

5. **Registro fotográfico del proceso de reparación por mantenimiento no programado**

Durante estas actividades de mantenimiento se procedió a realizar las guías de observación para el análisis respectivo

Reparación del Mando Final Derecho

Falla de inyector por contaminación del combudtible

Evaluación de funcionamento de la transmisión

Separador de agua de combustible saturado

Problemas de alta temperatura en turbos de altas RPM

Cambio de Mecanismo del mando de Bombas por falla