

FACULTAD DE INGENIERÍA



CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

“IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD MECÁNICA DE LOS CAMIONES 785 EN UNA EMPRESA CONTRATISTA MINERA”

Modalidad de Suficiencia Profesional para optar al título profesional de:

Ingeniero Industrial

Autor:

Miguel Enrique Jurado Delgado

Asesor:

Mag. Alejandro Ortega Saco

Lima– Perú

2018

APROBACIÓN DE LA TESIS

El asesor y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por el bachiller **Miguel Enrique Jurado Delgado**, denominada:

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO
CENTRADO EN CONFIABILIDAD PARA MEJORAR LA
DISPONIBILIDAD MECÁNICA DE LOS CAMIONES 785 EN
UNA EMPRESA CONTRATISTA MINERA.”**

Mag. Alejandro Ortega Saco.

ASESOR

Ing. Nombres y Apellidos

JURADO

PRESIDENTE

Ing. Nombres y Apellidos

JURADO

Ing. Nombres y Apellidos

JURADO

DEDICATORIA

La presente tesis está dedicada a Dios por darnos la vida y derramar sabiduría sobre nosotros, logrando así alcanzar nuestras metas. A mis padres por enseñarme a enfrentar las adversidades que se nos presentó en el camino, innumerables consejos además de su ejemplo de perseverancia que sentaron mis bases.

Miguel Enrique Jurado Delgado.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi esposa Lisette Castilla Aquino y a mis preciosas hijas, Ariana, Alejandra y Andrea, que me brindaron su gran apoyo y comprensión por la falta de tiempo, también su dedicación y aliento en todos los objetivos que me he trazado.

Miguel Enrique Jurado Delgado.

ÍNDICE DE CONTENIDO

APROBACIÓN DE LA TESIS.....	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
CAPÍTULO 1.INTRODUCCIÓN	1
1.1 REALIDAD PROBLEMÁTICA	1
1.2 ANTECEDENTES	4
1.2.1 Antecedentes de <i>Ámbito Nacional</i>	4
1.2.2 Antecedentes de <i>Ámbito Internacional</i>	6
1.3 JUSTIFICACIÓN	8
1.4 OBJETIVOS	9
1.4.1 <i>Objetivo General</i>	9
1.4.2 <i>Objetivos Específicos</i>	9
CAPÍTULO 2. MARCO TEORICO	10
2.1. BASES TEÓRICAS.....	10
2.1.1 <i>Mantenimiento</i>	10
2.1.2 <i>Tipos de mantenimientos</i>	11
2.1.3 <i>Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)</i>	13
2.1.4 <i>El proceso FMEA</i>	18
2.1.5 <i>Lubricación</i>	24
2.1.6 <i>Control de la Contaminación en los Aceites Lubricantes</i>	36
2.1.7 <i>Disponibilidad Mecánica</i>	40
2.2. DEFINICIONES Y TÉRMINOS BÁSICOS.	42

CAPÍTULO 3. DESARROLLO.....	43
3.1. Objetivo General: Implementar un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para la mejora de la disponibilidad mecánica de los camiones 785.	45
3.2. Objetivo específico 1: Determinar el estado de los lubricantes y mejorar su vida útil	51
3.3. Objetivo específico 2: Factores que afectan la disponibilidad mecánica durante la operación.....	65
3.4. Objetivo específico 3: Determinar la mejora económica con la aplicación de la mejora	74
CAPÍTULO 4. RESULTADOS	77
CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN.....	79
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES.....	80
CAPÍTULO 7. RECOMENDACIONES.....	81
CAPÍTULO 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82
CAPÍTULO 9. ANEXOS	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla nº 1 : Clasificación de severidad.....	20
Tabla nº 2 : Clasificación de ocurrencia.....	21
Tabla nº 3 : Clasificación de sistemas de detección temprana.....	21
Tabla nº 4 : Categorías en análisis de aceites.....	29
Tabla nº 5 : Problemas detectados en el análisis de aceite.....	39
Tabla nº 6 : Master General de Equipos del proyecto Shougang.....	45
Tabla nº 7 : Lista de equipos para análisis.....	46
Tabla nº 8 : Lista de fallas acumuladas en el trimestre analizado.....	49
Tabla nº 9 : Resumen de fallas.....	51
Tabla nº 10 : Potenciales modos de falla y sus niveles de detección.....	59
Tabla nº 11 : Severidad.....	60
Tabla nº 12 : Ocurrencia.....	60
Tabla nº 13 : Sistemas de detección temprana.....	60
Tabla nº 14 : Potenciales modos de falla y sus niveles de detección.....	61
Tabla nº 15 : Niveles de riesgo.....	62
Tabla nº 16 : Potenciales modos de falla y su RPN.....	63
Tabla nº 17 : Potenciales modos de falla, RPN, recomendaciones.....	65
Tabla nº 18 : Número de prioridad de riesgo antes y después.....	68
Tabla nº 19 : Frecuencia de fallas críticas inicial y final.....	70
Tabla nº 20 : Resumen de Fallas y tiempos de reparación.....	71
Tabla nº 21 : Indicadores para el cálculo.....	72
Tabla nº 22 : Indicadores antes de la mejora.....	72
Tabla nº 23 : Indicadores después de la mejora.....	72
Tabla nº 24 : Beneficio por disponibilidad mecánica después de la implementación.....	75
Tabla nº 25 : Beneficio por implementación tribológica.....	75
Tabla nº 26 : Ahorro en rellenos de aceite.....	76
Tabla nº 27 : Inversión para la implementación de la mejora.....	76
Tabla nº 28 : Proyección anual del beneficio después de implementación de la mejora.....	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura n° 1. Índice de precios de metales comunes - OSINERGMIN	1
Figura n° 2. Precio promedio anual de los principales metales	2
Figura n° 3. Producción de metales a nivel mundial	3
Figura n° 4. Porcentaje de crecimiento de producción de metales	3
Figura n° 5. Programa de cambios de aceite general.....	12
Figura n° 6. Programa de cambios de aceite camión 785C.....	13
Figura n° 7. Evolución de las teorías de mantenimiento por generaciones	15
Figura n° 8. Tipos de mantenimiento según RCM.	17
Figura n° 9. Las siete preguntas básicas de mantenimiento.....	17
Figura n° 10 Causas de la pérdida de función de un equipo	18
Figura n° 11 Secuencia del proceso del FMEA.....	19
Figura n° 12 Aplicación del proceso FMEA en la lubricación.....	22
Figura n° 13. Personal de laboratorio de Ferreyros.....	30
Figura n° 14. Analisis de muestras de aceite	31
Figura n° 15. Espectrofotómetro de absorción atómica modelo SAVANTA SIGMA	31
Figura n° 16. Viscosímetro automático de marca CANNON, modelo MiniQV-X.....	32
Figura n° 17. El contador de partículas PAMAS SBSS.	35
Figura n° 18. Reporte de análisis por control de laboratorio GR0018587.....	35
Figura n° 19. Reporte de análisis por control de laboratorio GR0017527.....	36
Figura n° 20. Organigrama del Área de Mantenimiento.	43
Figura n° 21. Proceso de implementación de FMEA.....	46
Figura n° 22. Diagrama de Gantt para la implementación	46
Figura n° 23. Acumulado de fallas del último trimestre	47
Figura n° 24. Acumulado de fallas del último trimestre	50
Figura n° 25. Base de datos de resultados de análisis de aceite Acumulado de fallas del último trimestre.	51
Figura n° 26. Tendencia de sistema hidraulico	52
Figura n° 27. Tendencia de sistema transmisión	53
Figura n° 28. Tendencia de sistema transmisión	53
Figura n° 29. Tendencia de sistema hidraulico	54
Figura n° 30. Tendencia de sistema transmisión	55
Figura n° 31. Tendencia de sistema hidraulico	55
Figura n° 32. Pasos para la aplicación de la metodología FMEA.....	57
Figura n° 33. Grafica comparativo paradas y tiempos de paradas.....	73
Figura n° 34. Grafica comparativo MTBS MTTR.....	73
Figura n° 35. Grafica comparativo MTBS MTTR.....	74

RESUMEN

La presente tesis expone una propuesta de mejora en la disponibilidad mecánica de los camiones mineros 785 en una empresa contratista que brinda servicios de movimiento de tierras a la minera. La propuesta de mejora se desarrolla en los yacimientos de la Costa Sur del Perú, aproximadamente a 530 kilómetros de la ciudad de Lima en el distrito de Marcona, provincia de Nazca en la región de Ica, se aplica en la operación minera a tajo abierto de propiedad de SHOUGANG HIERRO PERU S.A.A.

Actualmente las empresas contratistas deben optimizar al máximo sus equipos, reduciendo sus costos de mantenimiento e incrementando su producción a través de disponibilidad mecánica. Muchas empresas ya cuentan con un Plan de Mantenimiento Integral establecido, pero no cuentan con las herramientas físicas y software, que permita desarrollar y predecir las fallas prematuras, parada de equipos, que afectan negativamente en la disponibilidad mecánica de los equipos.

La presente propuesta busca mejorar la disponibilidad mecánica de la flota de seis camiones mineros 785 encargados al movimiento de tierras, esto implementando un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para incrementar el tiempo medio entre fallas, minimizar la generación de paros no programados y vida útil donde se hará uso de una serie de registros que se han ido recopilando con ayuda del personal de operaciones de la empresa contratista.

La metodología del mantenimiento centrado en confiabilidad se basa en el uso del análisis de modos y efectos de falla (FMEA), herramienta fundamental del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) el cual se aplica en los procesos de mantenimiento, ya que a través del reconocimiento y efectos de los modos de falla, así como su probabilidad de ocurrencia, se proponen las tareas de mantenimiento derivadas, a fin de contrarrestar sus efectos, una vez implementadas estas tareas se logran controlar y reducir el registro de fallas relacionadas a los equipos y/o sistemas, mejorando la disponibilidad mecánica de los camiones.

ABSTRACT

This thesis presents a proposal to improve the mechanical availability of the 785C mining trucks in the company that provides earthmoving services. The improvement proposal is developed in the deposits in the south coast of Peru approximately 530 kilometers from the city of Lima in the district of Marcona, Nazca province in the Ica region in the open-pit mining operation owned by the mining SHOU GANG HIERRO PERU SAA.

Currently contractor companies must optimize their equipment to the maximum, reducing their maintenance costs and increasing their production through mechanical availability. Many companies already have an established Comprehensive Maintenance Plan, but do not have the physical tools and software, which allows to develop and predict premature failures, stop equipment, which negatively affect the mechanical availability of equipment.

This proposal seeks to improve the mechanical availability of the fleet of six 785C mining trucks in charge of land movement, implementing a tribology program focused on reliability to increase the average time between failures, minimize the generation of unscheduled stoppages and useful life. Use of a series of records that have been compiled with the help of the operations personnel of the company.

Reliability-based tribology methodology is mainly based on the use of Failure Modes and Effects Analysis (FMEA), a fundamental reliability-based maintenance tool (RCM) which is applied to tribological processes. Of the failure modes, the functions of the lubrication for each failure mode, the effects of the failure modes and their probability of occurrence, the derived maintenance tasks are proposed, in order to counteract their effects, once implemented these tasks are they manage to control and reduce the registry of faults related to the tribological processes improving the mechanical availability of the trucks.

NOTA DE ACCESO

No se puede acceder al texto completo pues contiene datos confidenciales.

CAPÍTULO 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alavedra, C., Gastelu, Y., Méndez, G., Minaya, C., Pineda, B., Prieto, K., et al. (2016). Gestión de mantenimiento preventivo y su relación con la disponibilidad de la flota de camiones 730e Komatsu-2013. En *Ingeniería Industrial*, 34, pp.11-26. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/3374/337450992001.pdf>
- Ángel, R., & Olaya, H. (2014). *Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para la empresa Angroangel*. (Tesis de Ingeniería Mecánica). Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia. Recuperado de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/4620/6200046A581.pdf;sequence=1>
- Arzuaga, J. (2011). *Modelo de mantenimiento centrado en Confiabilidad (RCM) en la flota de equipos de Oruga D11N de la Empresa Minera Drummond Ltd*. (Monografía de Especialidad en Gerencia en Mantenimiento). Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- Bambarén, C., & Alatrística, S. (2011). *Mantenimiento de los Establecimientos de Salud. Una guía para la mejora de la calidad y seguridad de los servicios*. Lima: SINCO editores. Recuperado de <http://bvs.minsa.gob.pe/local/MINSA/ONGS%200354.pdf>
- Castañeda, V. (2006). *Metodología para integrar la tecnología del análisis de aceite a los programas de mantenimiento predictivo en sistemas hidráulicos de potencia*. (Tesis de Maestría en Tecnología Avanzada). Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología avanzada Unidad Querétaro, Instituto Politécnico Nacional, Santiago de Querétaro, México. Recuperado de https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/1158/1300_2006_CICATA-QUERETARO_MAESTRIA_castaneda_montiel_victormanuel.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Contreras, S. (s.f.). *Mantenimiento Preventivo: Tipos, Ventajas, Desventajas y Características*. Recuperado de <https://www.lifeder.com/mantenimiento-preventivo/>
- Córdova, C. (2005). *Implantación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) a los hornos convertidores Peirce Smith de la fundición de cobre de Souther Perú Copper Corporation*. (Tesis de Ingeniería Mecánica). Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú. Recuperado de http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/744/1/cordova_mc.pdf
- Díaz, J. (2006). *Documento de apoyo a la gestión de mantenimiento, para la selección y aplicación de lubricantes*. (Tesis de Ingeniería Mecánica). Facultad de ciencias de la Ingeniería,

- Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile. Recuperado de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2006/bmfcid542d/doc/bmfcid542d.pdf>
- Duffuaa, S., Rafaouf, A., & Dixon, J. (2000). *Sistemas de mantenimiento. Planeación y control*. México: Editorial Limusa, S.A.
- Empresa Ferreyros. (2014). *Servicios de Soporte. Laboratorio SOS*. Recuperado de <https://www.ferreyros.com.pe/servicios/servicio-de-soporte/laboratorios-sos>
- García, S. (2012). *Tipos de mantenimiento*. Recuperado de <http://www.mantenimientopetroquimica.com/tiposdemantenimiento.html>
- García, S. (2009). *Mantenimiento correctivo. Organización y gestión de la reparación de averías*. Madrid: Editorial RENOVETEC.
- Moubray, J. (2004). *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (Reliability-centred Maintenance)*. (2.ª ed.). Buenos Aires: Aladon Ltd.
- Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería. (2016). *Reporte de análisis económico sectorial. Sector minería*. Lima: Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería. Recuperado de http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/RAES/RAES-Mineria-Agosto-2016-GPAE-OS.pdf
- Oyanader, J., & Shand, C. (2013). *Mercado Mundial del Hierro: Demanda*. Chile: Universidad de Chile. Recuperado de https://www.u-cursos.cl/usuario/94eb98b323aec327cec4554fd6d99233/mi_blog/r/Avance_II_-_Econo.pdf
- Páez, F. (2014). *El proceso FMEA para las fallas de lubricación*. Recuperado de <http://noria.mx/lublearn/el-proceso-fmea-para-las-fallas-de-lubricacion/>
- Reliabilityweb. (2018). *Control de Contaminación en Sistemas hidráulicos y lubricantes*. Recuperado de <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/control-de-contaminacion-en-sistemas-hidraulicos-y-lubricantes>
- RENOVE Tecnología. (2012). *¿Qué es RCM?*. Recuperado de <http://www.mantenimientopetroquimica.com/rcm.html>
- Sifonte, J. (2017). *Norma SAE JA1011 – Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)*. Recuperado de <http://www.pdmtechusa.com/criterios-evaluacion-rcm/>
- Tello, G., & Espinoza, E. (2016). *Implementación del programa de tribología centrada en la confiabilidad para mejorar la productividad de las Palas PC4000 en la minera Miski Mayo*. (Tesis de Ingeniería Industrial). Facultad de Ingeniería, Universidad Privada del Norte, Lima, Perú.

Recuperado de
[http://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/11179/TESIS%20Guadalupe%20Tello_E
dwin%20Esp_.pdf?sequence=1](http://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/11179/TESIS%20Guadalupe%20Tello_Edwin%20Esp_.pdf?sequence=1)

Universidad de la República. (s.f.). *Manual Técnico*. Uruguay: Universidad de la República.

Recuperado de
[https://eva.fing.edu.uy/pluginfile.php/27557/mod_resource/content/0/Teorico/ManualTecnico_
Gulf.pdf](https://eva.fing.edu.uy/pluginfile.php/27557/mod_resource/content/0/Teorico/ManualTecnico_Gulf.pdf)

Vásquez, J., Córdova, C., & De la Rosa, F. (2015). Mantenimiento preventivo y predictivo para aumentar disponibilidad y confiabilidad en motores de camiones Cat797F-Haa de Minera Chinalco. En *Tecnología y desarrollo*, 13 (1), pp. 109-116.

Vega, A. (2017). *Implementación del mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de la maquinaria en la empresa Grúas América S.A.C. SANTA ANITA, 2017*. (Tesis de Ingeniería Industrial). Facultad de Ingeniería, Universidad César Vallejo, Lima, Perú. Recuperado de http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/1978/Vega_AAM.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Vicuña, F. (2009). *Implementación y administración de un Efectivo Programa de Análisis de Aceites Lubricantes para el mantenimiento de Maquinarias Minero Industriales*. (Tesis de Ingeniería Química). Facultad de Ingeniería Química y Textil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

Viteri, L. (2011). *Análisis de la degradación de aceites lubricantes y propuestas de planes de mejora para el mantenimiento del equipo pesado del ilustre municipio del cantón archidona*. (Tesis de Ingeniería Automotriz). Facultad de Mecánica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. Recuperado de <http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/947/1/65T00018.pdf>