



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

# ESCUELA DE POSGRADO

LOS FACTORES CRÍTICOS DEL PROCESO DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO QUE NO PERMITEN ADVERTIR LAS FALLAS DE LOS COMPONENTES DE LAS PALAS HIDRÁULICAS DE UNA EMPRESA QUE BRINDA SERVICIOS DE MANTENIMIENTO EN EL NORTE DEL PAÍS, 2018.

Tesis para optar el grado **MAGÍSTER** en:

**Dirección de Operaciones y Cadena de Abastecimiento**

**Autor:**

Bachiller. Tello Legoas, Frank Alberto

**Asesor:**

Dra. Obando Peralta, Ena Cecilia

Cajamarca – Perú

2018

## Resumen

La presente investigación tiene como objetivo principal determinar los factores críticos del proceso de mantenimiento predictivo que no permiten advertir las fallas de los componentes de las palas hidráulicas de una empresa que brinda servicios de mantenimiento, para tal, mediante la aplicación de herramientas para la mejora continua (diagrama de Ishikawa), se realizó el proceso de análisis causa raíz en 15 reportes de fallas de componentes, concluyendo en que, la falta de estrategia del programa predictivo, la no aplicación de herramientas tecnológicas con sus intervalos para la medición de la condición, la falta de alarmas de advertencia y de procedimientos de trabajo para las tareas predictivas, el incumplimiento de las tareas predictivas programadas y la falta de un programa de entrenamiento del personal, son los factores críticos del proceso en estudio.

Asimismo, mediante el análisis de documentos y el uso listas de verificación, se realizó la búsqueda en la documentación del área de predictivo, del sistema integrado de gestión, planeamiento y del área de capacitación, determinando el nivel de implementación de los factores críticos mencionados, definiendo y recomendando finalmente una propuesta de mejora (a ejecutar por el personal propio del área) que le permita al personal contar con las herramientas administrativas y tecnológicas, conocimientos y habilidades, que le permitan desempeñar correctamente sus funciones y así detectar y advertir de las fallas en las palas hidráulicas, para lograr una mayor disponibilidad de la maquinaria y por ende el cumplimiento de su contrato.

## Abstract

The main objective of this research is to determine the critical factors of the predictive maintenance process that do not allow to notice the failures of hydraulic shovel components from a company that provides maintenance service. For this purpose, the root cause analysis process was performed on 15 reports of component failures, through the application of tools for continuous improvement (Ishikawa diagram) It concluded that, a lack of strategy of the predictive program, the non-application of technological tools with their intervals for the measurement of the condition, the lack of both, levels warning alarms and work procedures for predictive tasks, non-compliance with scheduled predictive assignments and the lack of a staff training program, are the critical factors of the process under study.

Likewise, through the document analysis and the use of checklists, the search of the documentation of the predictive area from the integrated management system, planning, and the training area, was carried out to determine the implementation level of the critical factors mentioned.

Finally, a proposal for improvement (to be executed by the staff from the area) is recommended. It will allow the staff to have administrative and technological tools, knowledge and skills, in order to perform correctly their job functions and so, to detect and warn the faults in the hydraulic shovels, to achieve a greater availability of the machinery and therefore the fulfillment of its contract.



## Tabla de contenidos

Resumen .....	ii
Abstract .....	iii
Dedicatoria .....	iv
Agradecimientos.....	v
Tabla de contenidos .....	vi
Índice de Gráficos, figuras y tablas .....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
I.1. Realidad problemática .....	1
I.2. Pregunta de investigación .....	3
I.3. Objetivos de la investigación .....	3
I.3.1. Objetivo General.....	3
I.3.2. Objetivos Específicos .....	3
I.4. Justificación de la investigación.....	4
I.4.1. Justificación Teórica .....	4
I.4.2. Justificación Práctica .....	4
I.5. Alcance de la investigación .....	4
II. MARCO TEÓRICO.....	4
II.1. Antecedentes.....	4
II.2. Base Teórica .....	8
II.3. Definición de Términos Básicos .....	62
III. HIPÓTESIS .....	63
III.1 Declaración de hipótesis.....	63
III.2. Operacionalización de variables.....	64
III.3. Propuesta de Solución:.....	78
IV. DESCRIPCIÓN DE MÉTODOS Y ANÁLISIS .....	93



V. RESULTADOS .....	94
VI. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	115
Lista de referencias .....	119
VII. Bibliografía .....	119
Apéndice .....	121
VIII. Anexos .....	125

## Índice de Gráficos, figuras y tablas

### Índice de Gráficos

Gráfico 1: Disponibilidad Palas Hidráulicas PC4000, Periodo Enero- Abril, 2018 .....	2
Gráfico 2: Pareto de Paradas Por Fallas en Sistemas de Palas Hidráulicas (Enero - Abril 2018)2	
Gráfico 3: Tendencia de desgaste de hierro en la pala 01 (Enero - Febrero 2018).....	32
Gráfico 4: Diagrama causa – efecto de análisis causa raíz de fallas de componentes de las palas hidráulicas.....	96
<b>Gráfico 5: Porcentaje de fallas no advertidas debido a los factores críticos del proceso de mantenimiento predictivo.....</b>	<b>98</b>
Gráfico 6: Nivel de Implementación de la Estrategia de Mantenimiento Predictivo.....	99
Gráfico 7: Nivel de aplicación de herramientas tecnológicas como parte del programa de mantenimiento.....	101
Gráfico 8: Cumplimiento del programa de mantenimiento y calibración de las herramientas tecnológicas para la medición de la condición. ....	104
Gráfico 9: Nivel de implementación de los niveles de alarmas de advertencia .....	106
Gráfico 10: Nivel de Implementación de procedimientos para realizar mediciones predictivas	107
Gráfico 11: Tareas predictivas programadas ejecutadas Vs no ejecutadas (Enero – Abril 2018) .....	109
Gráfico 12: Nivel de cumplimiento del programa de inspecciones predictivas (enero – abril 2018) .....	109

### Índice de Figuras

Figura 1: Enfoque y contexto comercial de este PAS (Gestión de Activos) en relación con las otras categorías de activos.....	9
Figura 2: Descripción general del sistema de gestión de activos, su relación con el plan estratégico organizacional y expectativas de los interesados. ....	11
Figura 3: Evolución de la Gestión de Equipos.....	14
Figura 4: Trabajos de Mantenimiento por Origen, Actual y el Objetivo .....	15
Figura 5: Ventajas en Costos de los Tipos de Mantenimiento. ....	16

Figura 6: Valores, Relaciones, Procesos y Tecnologías Dentro de un Programa Comprensivo de Optimización de Activos .....	17
Figura 7: Fuentes de Información, Flujo y Usuarios Dentro de la Optimización de Activos. ....	23
Figura 8: Cadena de Eslabones del Análisis de Aceite. ....	35
Figura 9: Objetivos de un programa de análisis de aceites .....	38
Figura 10: Imagen termográfica de un motor de giro de pala hidráulica. ....	41
Figura 11: Pasos a seguir en la aplicación de tintes penetrantes.....	47
Figura 12: Pala Hidráulica KOMATSU cargando un camión minero. ....	50
Figura 13: Componentes del equipo de trabajo de una pala hidráulica.....	51
Figura 14: Cucharón o balde de pala hidráulica .....	52
Figura 15: Partes de un cucharón de pala hidráulica .....	52
Figura 16: Partes de un cucharón de pala hidráulica .....	53
Figura 17: Rodillos superiores e inferiores del tren de rodamiento de una pala hidráulica. ....	53
Figura 18: Rueda tensora del tren de rodamiento de una pala hidráulica.....	54
Figura 19: Rueda motriz del tren de rodamiento de una pala hidráulica. ....	54
Figura 20: Rodillos y zapatas del tren de rodamiento de una pala hidráulica. ....	55
Figura 21: Componentes del sistema de traslación o propulsión del tren de rodamientos de una pala hidráulica.. ....	55
Figura 22: Conjunto de frenos del sistema de traslación del tren de rodamientos de una pala hidráulica.....	56
Figura 23: Pernos de sujeción de cada conjunto de orugas al bastidor central.....	56
Figura 24: Tensado correcto de orugas (cadenas).....	57
Figura 25: Tensado incorrecto de orugas.....	57
Figura 26: Seguros y pasadores de cadenas del tren de rodamiento. ....	58
Figura 27: Componentes principales de la Súper Estructura de una pala hidráulica. ....	59
Figura 28: Componentes principales de la Súper Estructura de una pala hidráulica. ....	59
Figura 29: Gabinete de PLC de una pala hidráulica.....	59
Figura 30: Motor diésel QSK – 60 de una pala hidráulica KOMATSU.....	60

Figura 31: Panel de interruptores y monitor de una pala hidráulica KOMATSU.....	61
Figura 32: Lista de Verificación desarrollada, del nivel de implementación de la estrategia del Mantenimiento Predictivo. ....	133
Figura 33: Lista de verificación del nivel de implementación desarrollada, de los factores críticos del mantenimiento predictivo de una empresa que brinda servicios de mantenimiento en el norte del país.....	136
<b>Índice de Tablas</b>	
Tabla 1: Aplicación del Análisis de Aceite .....	34
Tabla 2: Ventajas y desventajas de los ensayos con tintes penetrantes.....	46
Tabla 3: Matriz de Operacionalización .....	65
Tabla 4: Actividades a realizar para mejorar el proceso de mantenimiento predictivo.....	78
Tabla 5: Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	93
Tabla 6: Causas que no permiten advertir los eventos de fallas en las palas hidráulicas .....	95
Tabla 7: Eventos de falla no advertidos debido a los factores críticos del proceso de mantenimiento predictivo. ....	97
Tabla 8: Implementación de Estrategia del Mantenimiento Predictivo .....	99
Tabla 9: Herramientas tecnológicas para medición de la condición existentes en almacén, aplicadas como parte del programa de mantenimiento y las tareas predictivas asociadas a cada una. ....	100
Tabla 10: Herramientas tecnológicas para medición de la condición existentes en almacén, que no son aplicadas como parte del programa de mantenimiento y las tareas predictivas que podrían ser asociadas a cada una. ....	101
Tabla 11: Tipos de daños causados por evento de falla en el motor de pala hidráulica. ....	102
Tabla 12: Costo de Oportunidad .....	102
Tabla 13: Costos de instalación de motor nuevo.....	103
Tabla 14: Programación y cumplimiento del mantenimiento y calibración de las herramientas tecnológicas para la medición de la condición. ....	103
Tabla 15: Implementación de niveles de alarmas de advertencia por equipos de medición de la condición. ....	105





Tabla 16: Procedimientos de trabajo por tarea predictiva asociada a las herramientas de medición.....	107
Tabla 17: Tareas predictivas que requieren conocimientos y habilidades especiales.....	111
Tabla 18: Cursos especializados en gestión de activos físicos y ofimática.....	112
Tabla 19: Cursos llevados y necesidades de capacitación y certificación de habilidades por colaborador. ....	113
Tabla 20: Nivel de conocimientos y habilidades del personal del área de predictivo. ....	115
Tabla 21: Matriz de Consistencia .....	122
Tabla 22: Guía de Observación para determinar si el personal realiza actividades ajenas a sus funciones.....	126
Tabla 23: Lista de Verificación de la Matriz de Análisis Causa Raíz de Fallas en Palas Hidráulicas & Factores Críticos de Mantenimiento Predictivo (Enero – Abril 2018) .....	127
Tabla 24: Lista de Verificación del nivel de implementación de la estrategia del Mantenimiento Predictivo.....	132
Tabla 25: Hoja de registro de herramientas presentes en almacén, las tareas asociadas y sus intervalos de medición.....	134
Tabla 26: Lista de verificación del nivel de implementación de los factores críticos del mantenimiento predictivo de una empresa que brinda servicios de mantenimiento en el norte del país.....	135
Tabla 27: Lista de verificación del cumplimiento de inspecciones de acuerdo al programa de mantenimiento.....	137
Tabla 28: Resumen de cursos y certificaciones llevados y por llevar por analista predictivo...	139
Tabla 29: Costos de cursos y certificaciones técnicas por empresas externas.....	140
Tabla 30: Costos de cursos de gestión por empresas externas.....	140
Tabla 31: Total costos por analista predictivo y en general.....	140

## **NOTA DE ACCESO**

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

## Lista de referencias

### VII. Bibliografía

- Abarca Sigcho, D., & Iglesias, V. F. (2012). *Tesis: Elaboración de un Plan de Mantenimiento Predictivo Mediante la Aplicación de Termografía Industrial en los Motores Eléctricos de la Planta de EUROLIT en la Empresa TUBASEC C.A.* Riobamba, Ecuador: Abarca Sigcho, Diego; Iglesias, Vasco Francisco;.
- Beebe, R. (1999). *Economic Justification of Condition Monitoring.* Tennessee: Maintenance & Realibility Center.
- Carrasco, S. (2009). *Metodología de la investigación científica. Pautas metodológicas para diseñar y elaborar el proyecto de investigación.* Lima: San Marcos.
- Chuqimango Morocho, Y. A., & Cotrina Rodríguez, C. E. (2017). *Tesis: Diseño de un Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) en la Flota de Excavadoras Hidráulicas 336 DL Para Reducir los Costos de Reparación en la Empresa COANSA del Perú Ingenieros SAC.* Cajamarca: Chuqimango Morocho, Yone Abdul; Cotrina Rodríguez, Charles Edwin.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2010). *Metodología de la investigación.* México: McGraw Hill.
- Institute Asset Management (IAM), British Standards Institution (BSI). (2008). *Especificación Publicamente Disponible (PAS 55-1:2008) (Vol. 1).* Londres: British Standards Institution (BSI).
- Juárez Mendoza, J. A. (2011). *Tesis: Implementación del Proceso Mantenimiento Cenytrado en Confiabilidad (RCM) para mejorar la Disponibilidad y Confiabilidad de la Flota de Palas Hidráulicas HITACHI en Minera Yanacocha.* Cajamarca: Juárez Mendoza, José Antonio;.
- Mitchell, J. (2015). *Physical Asset Management Handbook, 4th Edition.* United States of America: Hickman, John E.
- Moubray, J. (2004). *Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, RCM II.* North Carolina, EEUU: Edwards Brothers Lillington.
- Noria, Latin América. (2013). *Diplomado Análisis de Lubricantes, Nivel 1: Pilares del Programa.* Mexico: Noria.
- Organización Internacional Para La Estandarización. (2007). *ISO 18436-3: Condition Monitoring and Diagnostics of Machines - Requeriments for Qualification of Personnel - Requeriments for Training Bodies and the Training Process.* Suiza: Organización Internacional Para La Estandarización.

- Organización Internacional Para La Estandarización. (2008). *ISO 18434-1 Condition Monitoring and Diagnostics of Machines - Thermography*. Suiza: Organización Internacional Para La Estandarización.
- Organización Internacional Para La Estandarización. (2008). *ISO 18436-7 Condition Monitoring and Diagnostics of Machines - Requeriments for qualification and assessment of personnel*. Suiza: Organización Internacional Para La Estandarización.
- Recalde Gonzalo, F. (2009). *Ensayos No Destructivos*. Comahue: Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Comahue.
- Rojas Almeyda, E. A. (20 de Enero de 2015). *Temasdeminería - Operación y Mantención en Minería Pala PC4000*. Obtenido de [http://temasdemineria.blogspot.pe/2015/01/operacion-y-mantencion-pala-pc4000\\_20.html](http://temasdemineria.blogspot.pe/2015/01/operacion-y-mantencion-pala-pc4000_20.html)
- Tello Castro, G. E., & Espinoza Villaorduña, E. J. (2016). *Tesis: Implementación del Programa de Tribología Centrada en la Confiabilidad Para Mejorar la Productividad de las Palas PC4000 en la Minera Miskimayo*. Trujillo: Tello Castro, Guadalupe Esmeralda; Espinoza Villaorduña, Edwin Jonathan;.
- The American Society for Nondestructive Testing, Inc. (2016). *Recommended Practice SNT - TC - 1A - Personnel Qualification And Certification In Nondestructive Testing*. Columbus, Estados Unidos de America: Cynthia M. Leeman, Educational Materials Supervisor.
- UPN, S. d. (2013). *Glosario de Investigación UPN*. Trujillo.
- Vera, L., & Burgos, R. (2014). *Tesis: Análisis del Proceso de Mantenimiento de la Sala de Máquina y el Impacto en los Niveles de Producción en el Reparto Servicio de Dragas*. El Milagro, Ecuador: Vera, Luis; Burgos, Robert;.
- Yengle Medina, E. F. (2016). *Tesis: Propuesta de un Plan De Mantenimiento Basado En Rcm Para Incrementar La Rentabilidad En La Operación Cerro Corona De La Empresa San Martin Contratistas Generales S.A*. Trujillo: Yengle Medina, Edwin Fernando.