

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Industrial

“MEJORA DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO DE
TABLEROS DE CONTROL ELÉCTRICO Y SU
INFLUENCIA EN LA CONFIABILIDAD DEL ÁREA DE
SERVICIOS DE UNA EMPRESA MINERA”

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO INDUSTRIAL

Autores:

Bach. Carrillo Beunza, Pablo
Bach. Saire Chani, Rafael

Asesor:

Ing. Mg. Katherine del Pilar Arana Arana

Cajamarca - Perú

2020



TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS.....	8
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	10
RESUMEN.....	11
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	12
1.1. Realidad problemática	12
1.2. Formulación del problema	18
1.3. Objetivos	18
1.3.1. <i>Objetivo general</i>	18
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i>	18
1.4. Hipótesis	19
1.4.1. <i>Hipótesis general</i>	19
1.4.2. <i>Hipótesis específicas</i>	19
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	20
2.1. Tipo de Investigación.....	20
2.2. Materiales, Instrumentos y Métodos.....	21
2.2.1. <i>Materiales:</i>	21
2.2.2. <i>Instrumentos</i>	21

2.2.3. Métodos.....	25
2.3. Procedimiento	33
2.4. Operacionalización de Variables	36
CAPÍTULO III. RESULTADOS	38
3.1 Diagnóstico actual de la gestión de mantenimiento preventivo del área de servicios	38
3.1.1 Mapa de procesos de la gestión de mantenimiento del área de servicios.....	38
3.1.2 Proceso y funcionamiento de los equipos que pertenecen al área de servicios	42
3.1.3 Categorización y análisis de los modos de falla críticos.....	58
3.1.3.1 Identificación de los Modos de Falla Críticos	58
3.1.3.2 Análisis de los modos de falla críticos	60
3.2.3 Desempeño de los principales indicadores de gestión de mantenimiento del área de servicios	63
(1) Costos	63
(2) Nivel de cumplimiento de trabajos programados.....	64
(3) Tiempo promedio entre fallas – MTBF	67
(4) Trabajos realizados en tableros de control eléctrico	69
3.2 Análisis de confiabilidad de los tableros de control eléctrico.....	71
3.2.2 Cálculo de confiabilidad de acuerdo a los tiempos promedios de falla - MTBF	71
3.3 Propuesta de plan de mejora para la gestión de mantenimiento del área de servicios	76

3.3.1 Mejora del Proceso de Mantenimiento del área de servicios.....	76
3.3.2 Implementación de estrategias de mantenimiento de acuerdo a los modos de falta críticos identificados	79
3.3.3 Implementación de un programa de mantenimiento predictivo	84
3.3.4 Implementación de un sistema de indicadores para el control frecuente del desempeño de los tableros de control eléctrico.....	92
3.5 Resultados obtenidos de acuerdo a las dimensiones de las variables estudiadas	96
3.5 Evaluación de la viabilidad técnica y económica del proyecto de investigación	98
3.5.1 Factibilidad económica del proyecto de investigación	98
 CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	 102
4.1 Discusión.....	102
4.2 Conclusiones	107
 REFERENCIAS	 109
 ANEXOS.....	 112
Anexo 01: Extracto de base de datos para el análisis de información	113
Anexo 02: Modelo para la configuración de los sensores de los tableros de control eléctrico	113
Anexo 03: Modelos de Check list para inspección de tableros de control eléctrico	115
Anexo 04: Modelo de registro de datos de termografía	116
Anexo 05: Registro fotográfico de tableros de control eléctrico	117

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1: Matriz de Técnicas e Instrumentos</i>	23
Tabla 2: Lista de Verificación de Técnicas e Instrumentos	24
<i>Tabla 3: Tabla de operacionalización de variables</i>	36
Tabla 4: Variación de costos 2018 vs 2019.....	64
<i>Tabla 5: Resumen de trabajos ejecutados 2019</i>	66
Tabla 6: Prueba de bondad de ajuste	72
<i>Tabla 7: Estimaciones ML de los parámetros de distribución</i>	73
<i>Tabla 8: Parámetros de la distribución normal de los tableros de control eléctrico</i>	74
Tabla 9: Comparación entre indicadores actuales y esperados luego de la implementación del plan de mejora	96
Tabla 10: Detalle de la inversión y fuentes de ingreso para el flujo anual de efectivo	100
Tabla 11: Flujo de caja de la propuesta de mejora de la gestión de mantenimiento	101

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de Flujo para realizar el proceso RCM	27
<i>Figura 2: Mapa de Procesos de Mantenimiento del área de servicios</i>	<i>39</i>
<i>Figura 3: Partes principales de una bomba centrífuga – Horizontal.....</i>	<i>42</i>
Figura 4: Partes principales de una bomba centrífuga - Vertical	43
Figura 5: Modelos de Motores eléctricos utilizados al aire libre	45
Figura 6: Modelos de Motores eléctricos sumergibles en agua	45
Figura 7: Detalle de partes de una electrobomba Flygt 2400.402.....	46
<i>Figura 8: Detalle de partes Tablero de control Eléctrico</i>	<i>48</i>
<i>Figura 9: Instalación de Sensor de Protección por Temperatura RTD</i>	<i>49</i>
Figura 10: Esquema básico de un sistema de instrumentación y telemetría	50
Figura 11: Representación gráfica de la capa Freática	50
<i>Figura 12: Capa Freática del tajo en Minería a tajo abierto</i>	<i>51</i>
Figura 13: Representación gráfica de un Pozo profundo	54
Figura 14: Representación gráfica de una Poza	56
Figura 15: Representación gráfica de un Tanque de Rebombeo	57
Figura 16: Pareto de las actividades de mantenimiento con mayor demanda.....	58
Figura 17: Pareto de actividades frecuente de mantenimiento.....	59
Figura 18: Matriz de Modos de falla, efectos y criticidad de los tableros de control eléctrico	61
Figura 19: Comparación de costos reales vs presupuestados 2018 - 2019	63
Figura 20: Total de trabajos programados vs no programados	65
Figura 21: Cumplimiento del plan durante el 2019.....	66
Figura 22: Tiempos promedios entre fallas de los tableros de control eléctrico	68

Figura 23: Porcentaje de trabajos realizados en tableros de control eléctrico durante el 2018	69
Figura 24: Porcentaje de trabajos realizados en tableros de control eléctrico durante el 2019	70
Figura 25: Confiabilidad de los tableros de control eléctrico	75
Figura 26: Mapa de proceso con la mejora propuesta para optimizar la gestión de mantenimiento.....	78
Figura 27: Acciones recomendadas para cada modo de falla de acuerdo a la Matriz de falla, efectos y criticidad de los tableros de control eléctrico	80
Figura 28: Registro termográfico de las llaves de control en un tablero de control eléctrico	85
Figura 29: Registro termográfico a las conexiones internas dentro del tablero de control eléctrico	85
Figura 30: Demostración del uso de la cámara termográfica para el monitoreo de temperaturas	86
Figura 31: Representación gráfica de la Curva P-F	87
Figura 32: Comportamiento de los diferentes parámetros evaluados como parte del mantenimiento Predictivo	89
Figura 33: Modelo de límites permisibles de temperatura.....	90
Figura 34: Modelo de integración y desarrollo de las estrategias de mantenimiento	91
Figura 35: Tablero de Indicadores de Reporte General de Equipos	93
Figura 36: Reporte de Top Ten por Estructuras Operativas.....	94
Figura 37: Reporte de Top Ten por Razones de parada.....	95

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Fórmula para calcular el WACC.....	35
Ecuación 2: Fórmula para el cálculo de la confiabilidad	74

RESUMEN

Como parte del trabajo de investigación se pretende demostrar los beneficios de implementar mejoras dentro del proceso de la Gestión de Mantenimiento aplicado a los tableros de control eléctrico del área de servicios de una empresa minera. Para ello se ha logrado reducir en 16% la desviación de los costos con respecto a lo presupuestado, así como el incremento de los tiempos promedios entre fallas en 13.64% lo que representa un incremento de la confiabilidad hasta del 17.52% y por ende también el aumento disponibilidad al contar con mayores horas de operación de los sistemas de bombeo evaluados durante los años 2018 y 2019.

Dentro de nuestro análisis nos hemos enfocado en la metodología del análisis de confiabilidad RCM en base a los modos de falla más comunes que afectan la operación normal de estos componentes, aplicando para ello estrategias combinadas de las técnicas de mantenimiento tales como: Correctivo, preventivo y predictivo, soportados mediante la matriz de análisis de modos de falla, efecto y criticidad FMECA.

Mediante la metodología del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, se pudo realizar la identificación de los equipos críticos de un sistema de bombeo donde se define que uno de los componentes que afectan severamente la operación de los otros componentes, tales como motor y/o bomba, son los tableros eléctricos, que controlan las variables principales de operación y cuyo análisis es necesario para incrementar la confiabilidad de los equipos.

Palabras clave: Gestión de mantenimiento, confiabilidad, estrategias, planeamiento, Tableros de control eléctrico

NOTA DE ACCESO:

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

REFERENCIAS

- Arata, A., & Funaletto, L. (2005). *Manual de Gestión de Activos y Mantenimiento*. Santiago de Chile: RIL Editores.
- Area de Innovación y Desarrollo. (2017). *Investigaciones Cualitativas en Ciencia y Tecnología*. Alzamora: Los autores.
- Boero, C. (2009). *Mantenimiento industrial*. Argentina: Jorge Sarmiento Editor.
- Campo, C. (2013). *Tipos de Costos de Mantenimiento*. 10.
- Campos, O., Tolentino, G., Toledo, M., & Tolentino, R. (2019). *Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos*. México: Instituto Politécnico Nacional.
- Caterpillar INC. (2005). *Performance Metrics for Mobile Mining Equipment*. USA: Caterpillar.
- Diaz Fuentes, D., Hoyo Aparicio, A., & Marichal Salinas, C. (2017). *Orígenes de la globalización bancaria. Experiencias de España y América Latina*. España: Genuve Ediciones.
- Felipe, L. (18 de Octubre de 2017). *Confiabilidad Integral del Activo*. Obtenido de *Confiabilidad Integral del Activo*: <https://goo.gl/3E7hvp>
- Fernandez, E. (2018). *Gestión de Mantenimiento: Lean Maintenances y TPM*. Gijón: Universidad de Oviedo.
- Garcia, G. (2013). *Ingeniería de Mantenimiento, manual práctico para la gestión eficaz del mantenimiento industrial*. España: Renovotec.
- García, G. (2015). *La Reducción de Costes de Mantenimiento*. Madrid: Renovotec Ingeniería.
- 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>

- Garrido, S. G. (2016). *Organización y Gestión de Mantenimiento de Instalaciones*. Madrid: Renovetec.
- Gomez, A. M. (2017). *Técnicas de Mantenimiento Predictivo*. Bogotá: Universidad católica de Colombia.
- 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.
- Jimenez, A. (09 de Abril de 2012). *Mantenimiento Latino Americano*. Obtenido de Costo del Ciclo de Vida de un Activo: <https://maintenancela.blogspot.com/2012/04/costo-del-ciclo-de-vida-de-un-activo.html>
- Jimenez, F., & Espinoza, C. (2007). *Costos industriales*. Costa Rica: Tecnológica de Costa Rica.
- Johnston, M. (11 de junio de 2018). *Como seleccionar la estrategia de mantenimiento adecuada*. Obtenido de *Reliabilityweb.com*: <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/selecting-the-correct-maintenance-strategy>
- Lopera, J., Ramirez, C., Zuluaga, M., & Ortiz, J. (2010). *El Método Analítico como Método Natural*. *Revista crítica de ciencias sociales y jurídicas*, 27.
- Martin, D. (30 de Abril de 2017). *Estrategia Práctica*. Obtenido de *Matriz de Prioridades - Guía Práctica*: <https://www.estrategiapractica.com/matriz-prioridades-guia-practica/>
- Martinez, J., Rojas, C., & Tous, A. (2011). *Sensores de Resistencia Metálica RTD*. Barranquilla: Fundación Universidad del Norte.
- Moubray, J. (2004). *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad*. North Carolina: Edwards Brothers.
- O'Connor, P., & Kleyner, A. (2012). *Practical Reliability Engineering*. Gran Bretaña: Wiley.
- Osarenren, J. (2015). *Integrated Reliability: Condition Monitoring and Maintenance Equipment*. USA: CRC Press.

Pascual, R. (2008). El Arte de Mantener. Santiago: Universidad de Chile.

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

Pistarelli, A. (2010). Manual de Mantenimiento, Ingeniería, gestión y organización. Buenos Aires: RyC.

Reliabilityweb. (13 de Diciembre de 2017). Definición de las frecuencias para un plan de mantenimiento. Obtenido de Reliabilityweb A culture of Reliability: <https://goo.gl/gDGZhY>

Renovetec. (20 de 01 de 2016). RCM3. Obtenido de <http://rcm3.org/que-es-rcm>

SMRP. (2009). Maintenance and Reliability Body of Knowledge - Best Practice Metrics. Tennessee: SMRP.

Tavares, L. (2017). Administración Moderna de Mantenimiento. Rio de Janeiro: Novo Polo.

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 Governance Publishing.