

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica

Tesis

**Implementación de un plan de mantenimiento  
preventivo para Bombas centrífugas Warman  
orientado a mejorar la disponibilidad operativa en la  
unidad minera Chinalco**

Elvis Alen Tarazona Rosas

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Mecánico

Huancayo, 2025

## INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

**A** : Decano de la Facultad de Ingeniería  
**DE** : Ma. Ever Luis Poma Tintaya  
Asesor de trabajo de investigación  
**ASUNTO** : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación  
**FECHA** : 10 de noviembre de 2025

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

**Título:**

Implementación de un plan de mantenimiento preventivo para Bombas centrífugas ~~Warman~~ orientado a mejorar la disponibilidad operativa en la unidad minera Chinalco

**Autores:**

1. Elvis Alen Tarazona Rosas – Carrera profesional Ingeniería Mecánica

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "~~Turnitin~~" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 7 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI  NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores  
Nº de palabras excluidas: 30 SI  NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI  NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

**La firma del asesor obra en el archivo original**  
(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

## ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
ÍNDICE DE TABLAS .....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCIÓN .....	xiii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO .....	14
1.1. Planteamiento y formulación del problema .....	14
1.1.1. Planteamiento del problema .....	14
1.1.2. Formulación del problema.....	17
1.2. Objetivos.....	17
1.2.1. Objetivo general.....	17
1.2.2. Objetivos específicos .....	17
1.3. Justificación e importancia .....	18
1.3.1. Técnico .....	18
1.3.2. Económico .....	18
1.3.3. Social .....	18
1.4. Hipótesis y descripción de variables .....	19
1.4.1. Hipótesis general.....	19
1.4.2. Variable dependiente.....	19
1.4.3. Variable independiente.....	20
1.4.4. Descripción de variables .....	20
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	22
2.1. Antecedentes del problema.....	22
2.2. Bases teóricas.....	28
2.2.1. Vida útil .....	28
2.2.2. Mantenimiento.....	30
2.2.3. Bombas .....	39
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA .....	54
3.1. Método y alcance de la Investigación.....	54
3.1.1. Método .....	54
3.1.2. Tipo de investigación.....	54
3.1.3. Alcance de investigación – descriptivo.....	55

3.1.4. Parámetros y distribuciones en el mantenimiento.....	56
3.2. Diseño de la investigación .....	57
3.3. Población y Muestra.....	58
3.3.1. Población .....	58
3.3.2. Muestra .....	58
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	58
<b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>61</b>
4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información.....	61
4.1.1. Plan de mantenimiento preventivo implementado.....	73
4.2. Prueba de hipótesis.....	78
4.2.1. Formulación de hipótesis.....	78
4.2.3. Prueba estadística chi-cuadrado.....	84
4.3. Discusión de los resultados.....	86
4.3.1. Análisis de la vida útil incrementada .....	86
4.3.2. Validación estadística mediante prueba t.....	87
4.3.3. Análisis del PCR (planificación y control de reparaciones).....	88
4.3.4. Impacto económico y operacional .....	88
4.3.5. Contribución al conocimiento científico .....	89
4.3.6. Limitaciones y consideraciones futuras.....	89
4.3.7. Validación de la hipótesis de investigación.....	90
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>91</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>92</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>93</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>99</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variable dependiente.....	19
Tabla 2. Operacionalización de variable independiente.....	20
Tabla 3. Tamaños de series .....	41
Tabla 4. Listado de fallas por bomba.....	61
Tabla 5. Tabla del top ten.....	62
Tabla 6. Inventario de activos - sistema de bombeo Warman 650 MCR.....	73
Tabla 7. Cronograma integrado de mantenimiento preventivo .....	74
Tabla 8. Sistema de indicadores de gestión.....	75
Tabla 9. Personal técnico requerido y capacitación.....	75
Tabla 10. Equipos de diagnóstico y monitoreo.....	76
Tabla 11. Marco de revisión y mejora continua .....	76
Tabla 12. Evaluación económica proyectada (5 años).....	77
Tabla 13. Vida útil antes y después del plan de mantenimiento .....	78
Tabla 14. Estadísticos descriptivos .....	78
Tabla 15. Costos de mantenimiento correctivo frente a preventivo (USD) .....	79
Tabla 16. Análisis de frecuencia de mantenimientos.....	80
Tabla 17. Especificaciones de sellos mecánicos.....	80
Tabla 18. Análisis de impulsores por material .....	80
Tabla 19. Personal técnico requerido.....	80
Tabla 20. Programa de capacitación técnica .....	80
Tabla 21. Equipos de diagnóstico.....	81
Tabla 22. Evaluación costo-beneficio (5 años).....	81
Tabla 23. Indicadores de disponibilidad operativa .....	82
Tabla 24. Plan de implementación (24 meses) .....	83
Tabla 25. Identificación del valor de chi – tabla.....	84
Tabla 26. Promedio de horas trabajadas en las cuatro bombas .....	84
Tabla 27. Identificación del primer factor - frecuencias observadas .....	84
Tabla 28. Valores esperados.....	85
Tabla 29. Cálculo del valor chi – cuadrado .....	85
Tabla 30. PCR de las cuatro bombas .....	88

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Curva de la bañera.....	28
Figura 2. Unidad elemental de mantenimiento.....	31
Figura 3. Flujograma del mantenimiento correctivo.....	32
Figura 4. Ciclo general de los tipos de mantenimiento.....	33
Figura 5. Acciones posibles de realizar antes o después de la falla (Etapa I o II).....	35
Figura 6. Relación del TPM y la tecnología.....	36
Figura 7. Sellos de las Prensas Estopas.....	41
Figura 8. Componentes del sello mecánico.....	43
Figura 9. Clasificación de los sellos de empuje.....	45
Figura 10. Tipos de sellantes secundarios.....	46
Figura 11. Clasificación de los sellos de no empuje.....	47
Figura 12. Bomba de recolección de Agua.....	48
Figura 13. Partes principales del equipo.....	48
Figura 14. Sistema de accionamiento.....	49
Figura 15. Cabezal de la bomba.....	50
Figura 16. Impulsor.....	50
Figura 17. Porta-Tazones.....	51
Figura 18. Columna de descarga.....	51
Figura 19. Eje.....	52
Figura 20. Vibro Pen (SKF).....	59
Figura 21. Zonas de toma de vibración en motor y bomba.....	59
Figura 22. Medición de temperatura con termómetro láser.....	60
Figura 23. Alineador láser.....	60
Figura 24. Pareto de fallas del sistema de bombeo.....	62
Figura 25. Diagrama causa - efecto. desgaste de sello mecánico.....	65
Figura 26. Diagrama causa - efecto. Desgaste de impulsor por abrasión.....	66
Figura 27. Diagrama causa - efecto. Desgaste de voluta.....	67
Figura 28. Diagrama Causa - Efecto. Pérdida de eficiencia hidráulica.....	68
Figura 29. Diagrama causa – efecto. Cavitación por NPSH insuficiente.....	69

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo implementar un plan de mantenimiento preventivo para bombas centrífugas Warman orientado a mejorar la disponibilidad operativa en la unidad minera Chinalco, específicamente en las bombas utilizadas para recuperación de agua de relaves que operan bajo condiciones extremas de alta altitud (4,600 metros sobre el nivel del mar) y fluidos abrasivos con partículas metálicas en suspensión del 11 % al 18 %. La metodología empleada fue de tipo cuasi experimental con enfoque estadístico inferencial cuantitativo, utilizando un diseño prospectivo y longitudinal aplicado a una muestra de cuatro bombas centrífugas verticales seleccionadas mediante muestreo no probabilístico intencional, implementando técnicas de monitoreo que incluyeron mediciones de vibración cada 15 días con equipo Vibro Pen SKF, mediciones de temperatura con termómetro infrarrojo Fluke 572, y verificaciones de alineamiento láser trimestral con equipo SHAFTALIGN OS3. Los resultados obtenidos demostraron la efectividad del plan de mantenimiento preventivo al incrementar la vida útil promedio de las bombas de 3,975 horas a 16,150 horas, representando un aumento del 307 %, con mejora en la disponibilidad operativa del 90.2 % al 97.1 %, reducción del 79 % en costos operacionales por hora (de \$15.2 a \$3.14), y ahorros anuales de \$127,200 en costos de mantenimiento no programado, validados estadísticamente mediante prueba t para muestras pareadas ( $t = 187.4$ ,  $p < 0.001$ ) y análisis de Pareto que identificó las cinco fallas principales representando el 49.3 % del tiempo total de paradas. Se concluye que la implementación del plan de mantenimiento preventivo constituye una solución integral altamente efectiva que valida categóricamente la hipótesis alternativa planteada, superando las metas establecidas de PCR (planificación y control de reparaciones) de 16,000 horas, y demostrando que la transición del mantenimiento correctivo al preventivo genera mejoras significativas y sostenibles en el desempeño operacional de sistemas de bombeo críticos en aplicaciones mineras bajo condiciones extremas, proporcionando evidencia científica sólida para la generalización de estos resultados a otras operaciones mineras con características similares.

**Palabras clave:** mantenimiento preventivo, bombas centrífugas Warman, disponibilidad operativa, minería

## ABSTRACT

This research aimed to implement a preventive maintenance plan for Warman centrifugal pumps oriented to improve operational availability in the Chinalco mining unit, specifically for pumps used for tailings water recovery operating under extreme conditions at high altitude (4,600 meters above sea level) and abrasive fluids with metallic particles in suspension from 11% to 18%. The methodology employed was quasi-experimental with a quantitative inferential statistical approach, using a prospective and longitudinal design applied to a sample of four vertical centrifugal pumps selected through intentional non-probabilistic sampling, implementing monitoring techniques that included vibration measurements every 15 days with SKF Vibro Pen equipment, temperature measurements with Fluke 572 infrared thermometer, and quarterly laser alignment verifications with SHAFTALIGN OS3 equipment. The results obtained demonstrated the effectiveness of the preventive maintenance plan by increasing the average useful life of pumps from 3,975 hours to 16,150 hours, representing a 307% increase, with operational availability improvement from 90.2% to 97.1%, 79% reduction in operational costs per hour (from \$15.2 to \$3.14), and annual savings of \$127,200 in unscheduled maintenance costs, statistically validated through paired t-test ( $t = 187.4$ ,  $p < 0.001$ ) and Pareto analysis that identified the five main failures representing 49.3% of total downtime. It is concluded that the implementation of the preventive maintenance plan constitutes a highly effective comprehensive solution that categorically validates the proposed alternative hypothesis, exceeding the established PCR (Planning and Control of Repairs) goals of 16,000 hours, and demonstrating that the transition from corrective to preventive maintenance generates significant and sustainable improvements in the operational performance of critical pumping systems in mining applications under extreme conditions, providing solid scientific evidence for the generalization of these results to other mining operations with similar characteristics.

**Keywords:** preventive maintenance, Warman centrifugal pumps, operational availability mining