

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Industrial

Tesis

**Propuesta de un sistema de izaje para reducir el
tiempo de mantenimiento de bombas centrífugas
en Opermam – Morococha 2024**

Javier Angel Carbajal Barreto

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Industrial

Huancayo, 2025

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Decano de la Facultad de Ingeniería

DE : Jersoon Jesús Lazo Huaynalaya
Asesor de trabajo de investigación

ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación

FECHA : 2 de Julio de 2025

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

Título:

Propuesta de un sistema de izaje para reducir el tiempo de mantenimiento de bombas centrífugas en Opermam – Morococha 2024

Autores:

1. Javier Angel Carbajal Barreto – EAP. Ingeniería Industrial

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 18 % 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

SI ☐ NO ☒

Nº de palabras excluidas (**en caso de elegir "SI"**):

- 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.

Atentamente,

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

ÍNDICE

AGRADECIMIENTO	v
DEDICATORIA	vi
ÍNDICE.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
INTRODUCCIÓN	xviii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	1
1.1. Planteamiento y formulación del problema	1
1.1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.2. Formulación del problema	3
1.2.1. Problema general	3
1.2.2. Problemas específicos	3
1.3. Objetivos	3
1.3.1. Objetivo general.....	3
1.3.2. Objetivos específicos	3
1.4. Justificación e importancia de la investigación	3
1.4.1. Justificación práctica.....	4
1.4.2. Justificación económica	4
1.4.3. Justificación técnica	4
1.4.4. Importancia de la investigación	4
1.4.5. Delimitación del proyecto.....	4
1.4.5.1. Delimitación espacial	5
1.4.5.2. Delimitación temporal	5
1.5. Hipótesis y descripción de variables.....	5
1.5.1. Hipótesis general.....	5
1.5.2. Hipótesis específicas	5
1.6. Variables	5
1.6.1. Independiente.	5
1.6.2. Dependiente.	5
1.7. Operacionalización de variables	6
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	8
2.1. Antecedentes de la investigación	8

2.1.1.	Antecedentes internacionales.....	8
2.1.2.	Antecedentes nacionales	10
2.2.	Fundamentos teóricos	12
2.2.1.	Sistemas de izaje	12
2.2.1.1.	Tipos de sistemas de izaje	12
2.2.2.	Bombas centrífugas.....	15
2.2.2.1.	Tipos de bombas centrífugas.	15
2.3.	Mantenimiento industrial	16
2.3.1.	Tipos de mantenimiento.....	17
2.3.1.1.	Mantenimiento correctivo.	17
2.3.1.2.	Mantenimiento preventivo.	17
2.3.1.3.	Mantenimiento predictivo.	17
2.3.1.4.	Mantenimiento ante fallo.	17
2.4.	Indicadores para la optimización de mantenimiento	17
2.4.1.	Disponibilidad.....	17
2.4.2.	Tiempo medio para la reparación (MTTR).....	17
2.4.3.	Tiempos medio entre falla (MTBF).....	18
2.4.4.	Valor actual neto (VAN).....	18
2.4.5.	Tasa interna de retorno (TIR)	18
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA		19
3.1.	Metodología y alcance de la investigación	19
3.1.1.	Método	19
3.1.2.	Alcance de la investigación	19
3.2.	Tipo de investigación.....	19
3.3.	Diseño de la investigación	19
3.4.	Población y muestra.....	20
3.4.1.	Población.....	20
3.4.2.	Muestra	20
3.4.2.1.	Tipo de muestra no Probabilístico.	20
3.5.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	21
CAPÍTULO IV: RESULTADOS		22
4.1.	Descripción de la empresa y sus procesos	22
4.2.	Diagnostico actual.....	24
4.2.1.	Estado actual del mantenimiento de bombas	24

4.2.2.	Historial de mantenimientos de cada bomba centrífuga	24
4.2.2.1.	Bomba Horizontal Warman 6x4, 246-PP-004.	24
4.2.2.2.	Bomba Horizontal Warman 6x4, 246-PP-005.	26
4.2.2.3.	Bomba Horizontal Warman 6x4, 246-PP-006.	28
4.3.	Especificaciones técnicas para la propuesta del sistema de izaje	31
4.3.1.	Dimensiones operativas en el mantenimiento de bombas	31
4.3.2.	Capacidad de carga en el mantenimiento de bombas	32
4.3.3.	Procedimiento de maniobras con el sistema de izaje.....	33
4.3.4.	Desplazamiento vertical y horizontal en el mantenimiento de bombas.....	34
4.4.	Propuesta del sistema de izaje considerando especificaciones técnicas	34
4.4.1.	Especificaciones técnicas estructurales de la estación de trabajo con puente grúa de 3 toneladas, luz de 8.95 metros y altura bajo viga de 5.8 metros	34
4.4.2.	Arreglo general.	35
4.4.3.	Cargas aplicadas en la estructura y combinaciones de carga.....	35
4.4.4.	Estructura.	37
4.4.5.	Carga muerta (DL).....	38
4.4.5.1.	DL1 Peso propio de estructuras.	38
4.4.5.2.	DL2 Peso de equipo Polipasto.....	39
4.4.5.3.	DL3 Sistema eléctrico transversal.	39
4.4.5.4.	DL4 Carga Muerta Máxima por Rueda.....	39
4.4.6.	Carga material (ML)	40
4.4.7.	Carga viva (LL).....	40
4.4.7.1.	LL1 Impacto vertical 25% x (Q).....	40
4.4.7.2.	LL2 Freno Longitudinal 20% x(Q+DL2).	41
4.4.7.3.	LL3 Freno Transversal 10% x (Q)	41
4.4.7.4.	LL4 Carga Viva Máxima por Rueda.....	42
4.4.8.	Diagramas - cortante y momentos	42
4.4.9.	Ratios de Diseño	44
4.4.10.	Verificación de desplazamientos	45
4.4.10.1.	Deflexión vertical por capacidad de trabajo	45
4.4.10.2.	Cargas en las ruedas.....	46
4.5.	Propuesta del sistema de izaje.....	46
4.5.1.	Sistema de izaje YALE CPE-VTE DE 3t.....	47
4.5.2.	Tablero General	48

4.5.3.	Sistema de electrificación transversal	49
4.5.4.	Alarma Sonora y Visual.....	50
4.5.5.	Radio Control.....	51
4.6.	Reducción del tiempo del Mantenimiento	52
4.6.1.	Comparación de tiempos con grúa y sistema propuesto – Bomba 246-PP-004.....	52
4.6.2.	Análisis de Indicadores Clave – Bomba 246-PP-004.....	52
4.6.3.	Comparación de tiempos con grúa y sistema propuesto – Bomba 246-PP-005.....	53
4.6.4.	Análisis de Indicadores Clave – Bomba 246-PP-005.....	53
4.6.5.	Comparación de tiempos con grúa y sistema propuesto – Bomba 246-PP-006.....	54
4.6.6.	Análisis de Indicadores Clave – Bomba 246-PP-006.....	55
4.6.7.	Comparativa general del Área 246.	55
4.7.	Reducción de costos de mantenimiento aplicando el sistema de izaje	56
4.7.1.	Resumen de costos totales para la Bomba 246-PP-004 con grúa y sistema propuesto.	56
4.7.2.	Resumen de costos totales para la Bomba 246-PP-005 con grúa y sistema propuesto.	57
4.7.3.	Resumen de costos totales para la Bomba 246-PP-006 con grúa y sistema propuesto.	57
4.8.	Análisis de Significancia Estadística en la Reducción de Tiempos de Mantenimiento.....	57
4.8.1.	Formulación de hipótesis	58
4.8.2.	Datos analizados	58
4.8.3.	Prueba estadística t de Student.....	58
4.8.4.	Interpretación de resultados	59
4.8.5.	Conclusión de la prueba estadística	59
4.9.	Análisis de Significancia Estadística en la Reducción de Costos de Mantenimiento..	59
4.9.1.	Formulación de hipótesis	59
4.9.2.	Datos analizados	60
4.9.3.	Prueba estadística t de Student.....	60
4.9.4.	Interpretación de resultados	60
4.9.5.	Conclusión de la prueba estadística	61
4.10.	Análisis Financiero	61
4.10.1.	Introducción al análisis financiero	61
4.10.2.	Inversión inicial	61

4.10.3.	Costo de mantenimiento del sistema de izaje CPE-VTE.....	62
4.10.4.	Tiempo de vida útil del sistema de izaje CPE-VTE	63
4.10.5.	Flujo de Caja Proyectado	64
4.10.6.	Periodo de recuperación (Payback)	65
4.10.7.	Determinación del WACC para la Evaluación del VAN y la TIR del Proyecto.....	66
4.10.8.	Cálculo del Valor Actual Neto (VAN)	71
4.10.9.	Cálculo de la Tasa de Retorno Interno (TIR).....	72
4.10.10.	Conclusiones del análisis financiero	73
DISCUSIÓN DE RESULTADOS		75
CONCLUSIONES		76
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables.....	6
Tabla 2. Características Principales Warman Pump 6x4.....	21
Tabla 3. Técnicas de recolección de datos.....	21
Tabla 4. Historial de mantenimiento de la Bomba Warman 246-PP-004.	25
Tabla 5. Historial de mantenimiento con izaje de la Bomba Warman 246-PP-004.	26
Tabla 6. Indicadores de tiempo de la Bomba Warman 246-PP-004.....	26
Tabla 7. Indicadores de costos de la Bomba Warman 246-PP-004.....	26
Tabla 8. Historial de mantenimiento de la Bomba Warman 246-PP-005.	27
Tabla 9. Historial de mantenimiento con izaje de la Bomba Warman 246-PP-005.	27
Tabla 10. Indicadores de tiempo de la Bomba Warman 246-PP-005.....	28
Tabla 11. Indicadores de costos de la Bomba Warman 246-PP-005.....	28
Tabla 12. Historial de mantenimiento de la Bomba Warman 246-PP-006.	29
Tabla 13. Historial de mantenimiento con izaje de la Bomba Warman 246-PP-006.	29
Tabla 14. Indicadores de tiempo de la Bomba Warman 246-PP-005.....	30
Tabla 15. Indicadores de costos de la Bomba Warman 246-PP-005.....	30
Tabla 16. Peso máximo de componente de bomba warman 6x4.....	33
Tabla 17. Definición de valores de cargas muerta.....	36
Tabla 18. Definición de valores de cargas material u operación.	36
Tabla 19. Definición de valores de cargas vivas.	36
Tabla 20. Combinaciones de cargas utilizadas.	37
Tabla 21. Pesos de elementos principales indicado en SAP2000.....	38
Tabla 22. Características del sistema propuesto YALE CPE-VTE DE 3t.....	47
Tabla 23. Especificaciones Técnicas del Tablero General	48
Tabla 24. Sistema de Electrificación Transversal.....	49
Tabla 25. Alarma Sonora y Visual	50
Tabla 26. Radio Control	51
Tabla 27. Comparación de tiempos con grúa y sistema propuesto – Bomba 246-PP-004	52
Tabla 28. Análisis de Indicadores Clave – Bomba 246-PP-004.....	53
Tabla 29. Comparación de tiempos con grúa y sistema propuesto – Bomba 246-PP-005	53
Tabla 30. Análisis de Indicadores Clave – Bomba 246-PP-005.....	54
Tabla 31. Comparación de tiempos con grúa y sistema propuesto – Bomba 246-PP-006	54
Tabla 32. Análisis de Indicadores Clave – Bomba 246-PP-006.....	55
Tabla 33. Comparativa general del Área 246	55
Tabla 34. Costos totales para la Bomba 246-PP-004 con grúa y sistema propuesto.	56
Tabla 35. Costos totales para la Bomba 246-PP-005 con grúa y sistema propuesto.	57

Tabla 36. Costos totales para la Bomba 246-PP-006 con grúa y sistema propuesto.....	57
Tabla 37. Datos analizados para la evaluación estadística de la reducción de tiempos.....	58
Tabla 38. Datos analizados para la evaluación estadística de la reducción de costos.	60
Tabla 39. Sistema de Izaje CPE-VTE (Tecle Eléctrico 3 Ton).	62
Tabla 40. Flujo de caja proyectado a 7 años.....	64
Tabla 41. Datos financieros de Chinalco, resolución No. 1381-2024-OS/GSM.	67
Tabla 42. Datos de saldo neto por año del flujo de caja proyectado.	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área de bombas centrífugas en Chinalco.	1
Figura 2. Grúa puente suspendida con carro superior.	13
Figura 3. Grúa pórtico.	13
Figura 4. Grúa semipórtico.	14
Figura 5. Grúa giratoria con soporte de pared.	14
Figura 6. Tipos de bombas centrífugas.	15
Figura 7. Tipos de bomba de impulsor.	15
Figura 8. Bomba de eje Horizontal.	16
Figura 9. Bomba de eje vertical.	16
Figura 10. Organigrama	24
Figura 11. Mantenimiento con camión grúa de 22 tn.	31
Figura 12. Pedestales de área para puntos de apoyo.	32
Figura 13. Montaje de la estructura del sistema de izaje.	32
Figura 14. Maniobra de spool de alimentación.	33
Figura 15. Maniobra recomendable de carcasa.	33
Figura 16. Vista vertical del modelo propuesto.	34
Figura 17. Vista horizontal del modelo propuesto.	34
Figura 18. Estación y puente grúa 3t x 8.95m x 5.8m.	35
Figura 19. Estación de Trabajo y puente Monorriel en sap2000.	37
Figura 20. Análisis en dos posiciones en el centro y extremo de la viga.	38
Figura 21. Análisis del peso del Polipasto.	39
Figura 22. Sistema eléctrico transversal.	39
Figura 23. Carga muerta máxima por rueda.	40
Figura 24. Carga material.	40
Figura 25. Capacidad de impacto vertical sobre puente grúa.	41
Figura 26. Carga de freno longitudinal sobre puente grúa.	41
Figura 27. Carga freno transversal sobre puente grúa.	42
Figura 28. Carga máxima viva en la rueda.	42
Figura 29. Diagramas - Cortantes y Momentos.	43
Figura 30. Verificación del puente grúa y estación de trabajo.	44
Figura 31. Desplazamiento vertical máximos, Viga Puente.	45
Figura 32. Desplazamiento vertical máximos, estación de trabajo.	45
Figura 33. Carga máxima por rueda del testero.	46
Figura 34. Sistema de izaje YALE CPE-VTE DE 3t.	48
Figura 35. Recorrido en vertical y horizontal.	48

Figura 36. Tablero General.	49
Figura 37. Instalación Típica del Sistema de Electrificación.	50
Figura 38. Alarma Sonora y Visual.	51
Figura 39. Radio Control.	52
Figura 40. Gráfico de la evolución del flujo de caja neto.	65
Figura 41. Fórmula de Payback.	66
Figura 42. Validación de la existencia de la resolución N.º 1381-2024-OS/GSM.	67
Figura 43. Fórmula de WACC.	68
Figura 44. Parte resaltada de la estructura de capital en la fórmula de WACC.	68
Figura 45. Parte resaltada del costo de deuda en la fórmula de WACC.	68
Figura 46. Parte resaltada del impuesto a la renta en la fórmula de WACC.	69
Figura 47. Parte resaltada del costo de capital en la fórmula de WACC.	69
Figura 48. Fórmula para calcular el costo de capital con el modelo CAPM.	69
Figura 49. Tasa de rendimiento de los bonos del Tesoro de EE. UU. a 10 años.	70
Figura 50. Riesgo país de Perú en el 2025.	71
Figura 51. Tasa equivalente de WACC anual que usa Osinergmin según la resolución N.º 1381-2024-OS/GSM.	71
Figura 52. Fórmula del VAN.	72
Figura 53. Fórmula del TIR.	73

RESUMEN

Este trabajo de investigación aborda una problemática relevante en el sector minero, los sistemas de izaje para el mantenimiento de bombas centrífugas utilizadas en operaciones mineras. El estudio se realizó en la Unidad Minera Chinalco Perú, ubicada en la región Junín, provincia de Yauli, distrito de Morococha, donde la eficiencia en el mantenimiento de las bombas centrífugas Warman 6x4 resulta crucial para asegurar su operatividad continua y garantizar el transporte ininterrumpido de líquidos y lodos, manteniendo así la producción constante. El objetivo principal fue proponer un sistema de izaje que reduzca significativamente los tiempos y costos de mantenimiento, en la Unidad Minera Chinalco en Morococha, 2024. La metodología comprendió la revisión de literatura especializada, el diagnóstico del sistema de izaje actual, el diseño de la nueva propuesta y un análisis comparativo entre ambos sistemas. Para la comparación, se emplearon indicadores técnicos y financieros: el Tiempo Medio de Reparación (MTTR) se utilizó para medir la rapidez con la que se realiza el mantenimiento de las bombas después de una falla; el Valor Actual Neto (VAN) para calcular la rentabilidad económica de la inversión en el nuevo sistema, y la Tasa Interna de Retorno (TIR) para determinar la viabilidad financiera del proyecto. Los resultados demuestran que el nuevo sistema de izaje, basado en un puente grúa con tecle eléctrico en reemplazo del tradicional uso de camiones grúa, mejora significativamente la eficiencia del mantenimiento, reduce los costos a mediano plazo y representa una alternativa técnica, económica y operativamente viable, contribuyendo a la sostenibilidad y productividad de la operación minera.

Palabras clave:

Sistemas de izaje, bombas centrífugas, mantenimiento productivo, minería, MTTR, VAN, TIR.

ABSTRACT

This research addresses a relevant issue in the mining sector: hoisting systems for the maintenance of centrifugal pumps used in mining operations. The study was conducted at the Chinalco Peru Mining Unit, located in the Junín region, Yauli province, Morococha district, where maintenance efficiency of Warman 6x4 centrifugal pumps is crucial to ensure continuous operability and uninterrupted transport of liquids and slurries, thereby maintaining consistent production. The main objective was to propose a hoisting system that significantly reduces maintenance time and costs by 2024. The methodology included a review of specialized literature, a diagnosis of the current hoisting system, the design of a new proposal, and a comparative analysis between both systems. For this comparison, technical and financial indicators were used: Mean Time to Repair (MTTR) was applied to measure the speed at which pump maintenance is performed after a failure; Net Present Value (NPV) was calculated to determine the economic profitability of the investment in the new system; and the Internal Rate of Return (IRR) was used to evaluate the financial feasibility of the project. The results show that the proposed hoisting system, based on an overhead crane with electric hoist replacing the traditional use of crane trucks, significantly improves maintenance efficiency, reduces medium-term costs, and represents a technically, economically, and operationally viable alternative that contributes to the sustainability and productivity of mining operations.

Keywords:

Hoisting systems, centrifugal pumps, productive maintenance, mining, MTTR, NPV, IRR.