

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Eléctrica

Tesis

**Mejora de los procesos de reparación para los
motores eléctricos DC de palas eléctricas P&H
aplicado a la minería**

Jaime Efrain Tanca Pazos

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Electricista

Arequipa, 2024

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Felipe Guterra Meza
: Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : Gabriel Osiris Cairampoma Rodríguez
: Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 04 de Abril de 2024

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

Título:
"MEJORA DE LOS PROCESOS DE REPARACIÓN PARA LOS MOTORES ELÉCTRICOS DC DE PALAS ELÉCTRICAS P&H APLICADO A LA MINERÍA"

Autores:
I. Jaime Efraín Tanca Pazos – EAP. Ingeniería Eléctrica

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 09 % 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 N° de palabras excluidas (en caso de elegir "SI"): 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.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Agradecimiento	iv
Dedicatoria	v
Índice de contenidos	vi
Índice de tablas	ix
Índice de figuras	x
Resumen	xiv
Abstract	xv
Introducción	xvi
Capítulo I	17
Planteamiento del estudio	17
1.1. Planteamiento y formulación del problema	17
1.1.1. Problema general.....	19
1.1.2. Problemas específicos	19
1.2. Objetivos	19
1.2.1. Objetivo general.....	19
1.2.2. Objetivos específicos	19
1.3. Justificación e importancia	20
1.4. Delimitación del proyecto	20
1.5. Hipótesis y variables	20
1.5.1. Hipótesis general.....	20
1.5.2. Hipótesis específicas	21
1.5.3. Operacionalización de variables	21
Capítulo II	23
Marco teórico	23
2.1. Antecedentes de la investigación.....	23
2.1.1. Antecedentes internacionales	23
2.1.2. Antecedentes nacionales	26
2.2. Bases teóricas	30
2.2.1. Motor eléctrico	30
2.2.1.1. Definición.....	30
2.2.1.2. Teoría básica del motor eléctrico DC	32
2.2.1.3. Elementos principales del motor eléctrico DC.....	44
2.2.1.4. Aplicaciones del motor eléctrico de DC en la pala eléctrica P&H	44
2.2.1.5. Requisitos para el buen funcionamiento de los motores de la pala P&H .	48
2.2.1.6. Sistema de control del motor DC en la pala P&H.....	60

2.2.1.7. Mantenimiento básico de los motores de la pala P&H	63
2.2.1.8. Motores Expuestos a Condiciones Nocivas	79
2.2.1.9. Desmontaje e instalación del motor	83
2.2.2. Reparación del motor eléctrico DC	86
2.2.2.1. Definición.....	86
2.2.2.2. Desarme de motor eléctrico DC, Pala Eléctrica	87
2.2.2.3. Mantenimiento, reparación y armado del motor eléctrico DC	88
2.2.2.4. Pruebas finales de carga y vacío del motor eléctrico DC	89
2.2.2.5. Terminado del motor eléctrico DC	91
2.2.3. Pruebas eléctricas realizadas a los motores eléctricos	92
2.2.3.1. Prueba dieléctrica de resistencia óhmica motor eléctrico DC estado de aislamiento inspección y pruebas.....	92
2.2.3.2. Prueba dieléctrica de caída de tensión motor eléctrico DC	93
2.2.3.3. Prueba dieléctrica de aislamiento del motor eléctrico DC	93
2.2.3.4. Prueba de aislamiento en armadura	94
2.2.3.5. Prueba de aislación a portaescobillas.....	94
2.2.3.6. Prueba dieléctrica de índice de polarización del motor eléctrico DC.....	94
2.2.3.7. Prueba de índice de polarización en armadura.....	95
2.2.3.8. Prueba dieléctrica de impulso o surge motor eléctrico DC	95
2.2.3.9. Proceso de barnizado por vacío y presión (VPI).....	95
2.2.3.10. Prueba dieléctrica barra-barra para motor eléctrico DC.....	96
Capítulo III.....	98
Metodología	98
3.1. Método, tipo o alcance de investigación.....	98
3.1.1. Enfoque de investigación	98
3.1.2. Tipo de investigación	98
3.1.3. Alcance de investigación.....	98
3.1.4. Diseño de investigación	99
3.1.5. Método de investigación	99
3.2. Materiales y métodos.....	100
3.2.1. Población, muestra y muestreo.....	100
3.2.2. Técnica e instrumento de recolección de datos.....	100
3.2.3. Técnica de procesamiento y análisis de datos	100
Capítulo IV.....	101
Resultados y discusión	101
4.1. Resultado del análisis y tratamiento de la información.....	101
4.1.1. Descripción general.....	101

4.1.1.1. Diagrama de flujo de las evaluaciones de motores DC de las palas P&H	101
4.1.1.2. Descripción de etapas de evaluación del motor eléctrico DC de las palas P&H	102
4.1.1.3. Diagrama de flujo de mantenimiento y reparación del motor DC de las palas P&H	103
4.1.1.4. Descripción de mantenimiento y reparación del motor eléctrico DC de las palas P&H	104
4.1.2. Análisis descriptivo	106
4.2. Prueba de hipótesis	109
4.2.1. Hipótesis general	109
4.2.2. Hipótesis específicas	110
4.3. Discusión de resultados	111
Capítulo V	115
Propuesta de mejora	115
5.1. Formatos actuales de calidad mejorados	115
Conclusiones	152
Recomendaciones	153
Lista de referencias	154
Anexos	158

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variable	22
Tabla 2. Diagnóstico de fallas del conmutador del motores eléctricos DC.....	68
Tabla 3. Grado y tipo opcional de las escobillas para motores DC palas P&H	74
Tabla 4. Clases de aislamiento del motor eléctrico DC	81
Tabla 5. Pruebas eléctricas realizadas en el proceso de evaluación de motores eléctricos DC	88
Tabla 6. Posición de regletas, código y rotulado de sensores de los motores DC.....	91
Tabla 7. Voltaje de prueba del motor eléctrico DC	93
Tabla 8. Descripción de las etapas de la evaluación del motor eléctrico DC de las palas P&H	102
Tabla 9. Descripción de mantenimiento y reparación de motor eléctrico DC	104
Tabla 10. Formatos de desarme y evaluación de motor eléctrico DC.....	116
Tabla 11. Formato de mantenimiento, reparación y terminado del motor eléctrico DC	136
Tabla 12. Formato de pruebas eléctricas Finales del motor eléctrico DC.....	148
Tabla 13. Matriz de consistencia.....	159
Tabla 14. Base de datos de Encuesta Realizada	163

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Motor eléctrico de DC de la pala con ventilador.....	32
Figura 2. Diagrama esquemático que ilustra la teoría básica del motor.....	33
Figura 3. Un motor de DC está compuesto por un circuito magnético de hierro o acero	34
Figura 4. La ley de Ohm establece que la cantidad de corriente.....	34
Figura 5. A medida que se incrementan los niveles de flujo	35
Figura 6. Propiedad de la inductancia	35
Figura 7. El voltaje o fuerza electromotriz	36
Figura 8. Un aumento en la densidad del flujo.....	37
Figura 9. A medida que la armadura pasa debajo de cada uno de los polos principales, la corriente en los conductores individuales invierte su dirección	38
Figura 10. Las máquinas de DC incorporan un polo de conmutación o «interpolo»	39
Figura 11. Flujo debido al campo principal	39
Figura 12. Flujo debido al circuito conductor de la armadura	40
Figura 13. Flujo neto debido a la corriente de campo principal y la armadura	40
Figura 14. El devanado de cara polar cancela el efecto de reacción de la armadura, reduce el voltaje de barra a barra en las barras del conmutador y mejora las características del rendimiento de la máquina.....	41
Figura 15. El espacio frontal de los campos de conmutación se encuentra entre el polo de conmutación y la armadura. El espacio trasero se encuentra entre la parte trasera del polo de conmutación y el bastidor del motor	41
Figura 16. En la posición apropiada, las escobillas harán contacto con los segmentos del conmutador conectados a las bobinas de la armadura que pasan a través de la zona de conmutación	42
Figura 17. La densidad del flujo (B) entra en una armadura con una longitud de núcleo (l) y un conductor, pasando a través de la armadura con un radio (r) desde la línea central. La densidad del flujo ingresa en el área de líneas cruzadas.....	43
Figura 18. Componentes del motor DC de la pala.....	44
Figura 19. Un ciclo de trabajo de la pala consiste en la excavación, giro, vaciado y retorno al banco	45
Figura 20. Motores y frenos montados en la sobreestructura y en la pluma de una pala eléctrica para la minería	46
Figura 21. Motores y frenos de avance	47
Figura 22. En un ciclo ideal de excavación, los movimientos de levante, empuje y giro se coordinan perfectamente, como lo indican las curvas. El cambio constante de las cargas y los movimientos de la máquina producen una respuesta inferior a la ideal	48

Figura 23. Fuerzas de excavación de la pala eléctrica para la minería	49
Figura 24. Funcionamiento del levante	50
Figura 25. Velocidad versus torque de levante.....	50
Figura 26. Registro de un ciclo del movimiento de levante.....	51
Figura 27. Profundidad de corte y factores de llenado óptimos.....	52
Figura 28. El esfuerzo de empuje permanece constante a medida que la velocidad cambia a través del movimiento de empuje (indicado por los números positivos), como también durante el movimiento de recojo (indicado por los números negativos)	53
Figura 29. El motor de empuje está diseñado con un perfil específico de velocidad y torque para cumplir con los requisitos de fuerza del empuje y recojo de la pala	53
Figura 30. Registro de la velocidad del movimiento de empuje y la corriente de la armadura.....	54
Figura 31. El peso en el balde afecta la estabilidad de la pala al igual que la tasa de aceleración y desaceleración.....	55
Figura 32. A medida que la velocidad del motor de giro aumenta, el torque del giro permanece constante	55
Figura 33. A medida que el torque del motor de giro aumenta, la velocidad del giro permanece constante	56
Figura 34. Ciclos de giro típicos desde y hacia el camión.....	56
Figura 35. A medida que el grado aumenta, se requiere mayor esfuerzo para propulsar la pala	57
Figura 36. Velocidad máxima de la pala, se logra en un punto relativamente bajo en la curva de torque. El torque continúa aumentando para producir el esfuerzo de tracción requerido para propulsar la pala.....	58
Figura 37. Motor típico de levante con ventilador tipo centrífugo.	59
Figura 38. Flujo típico de aire de enfriamiento en un motor de pala	59
Figura 39. Cabinas del sistema digital del Drive de Electrotorque® plus de P&H.....	60
Figura 40. Diagrama de bloque del sistema digital DC del drive de Electrotorque de P&H. El sistema permite el control de estado sólido, incluyendo la inversión de los motores	61
Figura 41. El sistema digital del drive de Electrotorque plus de P&H reduce el tiempo del ciclo de la pala, los problemas de instalaciones eléctricas asociados con los sistemas análogos del drive del motor.....	62
Figura 42. Las cabinas del convertidor alojan tiristores usados para convertir la energía de AC a DC. El sistema de Electrotorque de P&H retorna 10 % a 15 % de la energía eléctrica original, a través de la regeneración hacia la red de distribución de la mina, con el mismo patrón de suministro de AC trifásico	63
Figura 43. Guía de diagnóstico de fallas del conmutador y la escobilla	65

Figura 44. Resumen de la variedad de síntomas relacionados con el funcionamiento del conmutador y las escobillas, junto con sus probables causas y soluciones. Muchos síntomas pueden indicar una gama de causas probables	66
Figura 45. La observación de la apariencia de la superficie del conmutador ayudará a determinar su condición.....	67
Figura 46. Chequeo de aspereza y barras altas del conmutador	69
Figura 47. La escobilla (A) «tropieza» con la barra alta (B), produce un arco (C), arrastra cobre desde las barras adyacentes (D) y produce puntos de rebaje (E), resultando en un conmutador con superficie circunferencial, deforme y con asperezas.....	69
Figura 48. Inspección de las escobillas del motor DC.....	70
Figura 49. Vista ampliada de la mica y las barras	71
Figura 50. Chequeo de la presión del resorte de la escobilla.....	72
Figura 51. Chequeo de presión del anillo de la escobilla	73
Figura 52. Asentamiento de escobillas con papel de lija	75
Figura 53. Mecanismo de montaje de la escobilla.....	76
Figura 54. Secuencia del cambio de escobillas	77
Figura 55. Placa típica de lubricación de cojinetes encontrada en motores de DC	78
Figura 56. El mantenimiento inapropiado, el abuso u otras condiciones perjudiciales pueden conducir a la falla catastrófica del motor	79
Figura 57. Operación de la pala en condiciones polvorientas.....	80
Figura 58. Antes de desmontar un motor, se marcan todas las conexiones eléctricas y cada juego de mitades del acoplamiento, para asegurar una instalación apropiada.....	84
Figura 59. Acoplamiento típico del motor de levante	84
Figura 60. Alineamiento del eje del motor y del eje impulsor de la caja de engranajes	86
Figura 61. Los motores se limpian con vapor e inspeccionan una vez llegados al centro de reparación de MinePro.....	86
Figura 62. Prueba dieléctrica barra-barra a conmutador del motor eléctrico DC.....	96
Figura 63. Símbolo del diseño de investigación no experimental transversal-descriptivo.....	99
Figura 64. Diagrama de la evaluación del motor eléctrico DC.....	101
Figura 65. Diagrama de mantenimiento y reparación del motor eléctrico DC	103
Figura 66. ¿De qué manera se puede mejorar los procesos de reparación para los motores eléctricos DC?.....	106
Figura 67. ¿Los formatos de calidad que existen son suficientes para poder realizar una reparación correcta en los motores eléctricos DC?	106
Figura 68. ¿El implementar formatos de calidad más detallados disminuirá el tiempo de reparación de motores eléctricos DC?.....	107

Figura 69. ¿Como colaborador conoces todas las etapas y procesos de reparación de motores eléctricos DC?.....	107
Figura 70. ¿Indique usted que etapa es la más crítica en la reparación de motores eléctricos DC?	108
Figura 71. ¿Con los formatos actuales, cree usted que presenta mayor deficiencia en la evaluación, reparación y entrega oportuna al cliente respecto a los motores eléctricos DC?.....	108
Figura 72. ¿Qué podrías aportar o sugerir como colaborador para mejorar las reparaciones de motores eléctricos DC?.....	108
Figura 73. ¿Cómo colaborador, cómo podemos disminuir la etapa de reparación más crítica de motores eléctricos DC?.....	109
Figura 74. Diagrama de conexión de un Motor DC en derivación de interpolos de 4 polos. Tomada de «P&H Mining Equipment,» 2007, p. 38.....	168
Figura 75. Despiece del motor eléctrico DC. Tomada de «P&H Mining Equipment,» 2013, p. 10.....	169

RESUMEN

En las empresas de gran minería existen equipos críticos, los cuales generan pérdidas si fallaran o presentaran paradas no programadas, es por lo que el propósito de este trabajo es analizar formatos y verificar los resultados para mejorar los procesos de reparación de motores eléctricos DC de palas eléctricas P&H, e implementar métodos para disminuir los tiempos de reparación mediante formatos más detallados.

Para alcanzar el objetivo identificado se usó el método de investigación empírico, este método se basa en la experiencia y el criterio del investigador, para lo cual se observa el fenómeno y se recopila la información necesaria para poder analizarlos. Se adecua al procedimiento que se realiza mediante la observación de los motores eléctricos DC y sus procesos de reparación, con formatos de calidad se busca una mejora en las reparaciones. Se realizó muestreo no probabilístico por conveniencia dado que la población es pequeña y se está considerando a expertos dentro del tema investigado.

Por lo tanto, los formatos de calidad detallados propuestos en la investigación (desde la evaluación hasta la etapa final) facilitaron los procesos de reparación para los motores eléctricos DC de palas eléctricas P&H, ayudando a que los técnicos sean más eficientes al momento de realizar los procesos de reparación.

Se alcanzaron los objetivos propuestos inicialmente, ya que mejorando los formatos de calidad de cada proceso de reparación se evita que se siga cometiendo errores, y que el personal técnico tenga más información detallada a su alcance y pueda realizar una correcta reparación.

Palabras claves: formatos de calidad, motor eléctrico DC, palas eléctricas P&H, procesos de reparación,

ABSTRACT

In large mining companies there is critical equipment, which generates losses if it fails or presents unscheduled stops, which is why the purpose of this work is to analyze formats and verify the results to improve the repair processes of DC electric blade motors P&H electrical equipment, and implement methods to reduce repair times through more detailed formats.

To achieve the identified objective, the empirical research method was used. This method is based on the experience and judgment of the researcher, for which the phenomenon is observed and the necessary information is collected to be able to analyze it. It is adapted to the procedure that will be carried out through the observation of DC electric motors and their repair processes, with quality formats an improvement in repairs will be sought. Non-probabilistic sampling was carried out for convenience given that our population is small and experts are being considered within the investigated topic.

Therefore, the detailed quality formats proposed in the research (from evaluation to the final stage) facilitated the repair processes for the DC electric motors of P&H electric shovels, helping technicians to be more efficient when carrying out the repairs. repair processes.

The initially proposed objectives were achieved, since improving the quality formats of each repair process will prevent errors from being made, and the technical staff will have more detailed information at their disposal and can carry out a correct repair.

Keyword: DC electric motor, P&H electric shovels, quality formats, repair processes