

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Eléctrica

Tesis

**Automatización del área de ventilación de voladura
para reducir el consumo de energía eléctrica en la
minera Nexa, Pasco, 2024**

Juan Carlos Curo Huaccachi
Jesus Arana Lozano

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Electricista

Huancayo, 2024

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : Ing. Percy Javier Juan De Dios Ortiz
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 22 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:

AUTOMATIZACIÓN DEL ÁREA DE VENTILACIÓN DE VOLADURA PARA REDUCIR EL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA MINERA NEXA, PASCO 2024

Autor(es):

1. **JUAN CARLOS CURO HUACCACHI** – EAP. Ingeniería Eléctrica
2. **JESUS ARANA LOZANO** – 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 19 % 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 : 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.

Atentamente,

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Agradecimiento	iv
Dedicatoria	v
Índice de contenidos	vi
Índice de tablas	x
Índice de figuras	xi
Resumen	xiii
Abstract	xiv
Introducción	xv
Capítulo I	xvii
Planteamiento del estudio	xvii
1.1. Planteamiento y formulación del problema	xvii
1.1.1. Formulación del problema	xviii
1.1.1.1. Problema general.....	xviii
1.1.1.2. Problema específico	xix
1.1.2. Objetivos	xix
1.1.2.1. Objetivo general	xix
1.1.2.2. Objetivo específico	xix
1.2. Importancia	xix
1.3. Justificación económica	xx
1.4. Justificación teórica.....	xx
1.5. Justificación social	xx
1.6. Justificación ambiental.....	xx
1.7. Hipótesis y descripción de variables	xxi
1.7.1. Hipótesis general.....	xxi
1.7.2. Hipótesis específicas	xxi
1.7.3. Descripción de variables	xxi
1.7.3.1. Variable dependiente.....	xxi
1.7.3.2. Variable independiente	xxi
1.7.4. Operacionalización de variables	22
Capítulo II	23
Marco teórico	23
2.1. Antecedentes del problema	23
2.1.1. Automatización	23
2.1.1.1. Antecedentes nacionales	23

2.1.1.2. Antecedentes internacionales	24
2.1.2. Consumo energético.....	25
2.1.2.1. Antecedentes nacionales	25
2.1.2.2. Antecedentes internacionales	26
2.2. Bases Teóricas.....	27
2.2.1. Automatización	27
2.2.2. Consumo energético.....	28
2.3. Definición teórica.....	29
2.3.1. Automatización	29
2.3.2. Protocolo de comunicación de cableado multipar	29
2.3.3. Controladores lógicos programables PLC	29
2.3.4. Interfaz humano-máquina (HMI).....	30
2.3.5. La Unidad Terminal Remota (RTU):.....	31
2.3.6. Los Dispositivos Electrónicos Inteligentes (DEI):.....	31
2.4. Controlador lógico programable industrial «PLC»	31
2.4.1. Tipos de protocolo en comunicaciones industriales	31
2.5. Consumo energético.....	32
2.5.1. Consumo energético en minería.....	32
2.5.2. Ventilador pivotante.....	33
2.5.3. Temperatura efectiva en la mina.....	34
2.5.4. La primera ley de Kirchhoff (Ley de continuidad)	34
2.5.5. Segunda ley de Kirchhoff (Ley de circulación)	34
2.5.6. Ley de Atkinson.....	36
2.5.7. Tipo de ventilador centrífugo.....	36
2.5.8. Ventiladores de hélices	37
2.5.9. Ventiladores axiales.....	38
2.6. Protocolo de comunicación MODBUS	38
2.6.1. Comunicación MODBUS RTU (S7-1200-PC).....	39
2.6.2. Configuración en la PC.....	39
2.6.3. Protocolo MODBUS	40
2.6.3.1. Aplicación del protocolo MODBUS	40
2.6.3.2. Red MODBUS RTU (Master-Slave)	41
2.6.3.3. Mensajes MODBUS	43
2.6.3.4. Tramas del MODBUS RTU.....	43
2.6.4. Códigos clase 0	43
2.6.5. Códigos clase 1	43
2.6.6. Códigos clase 2	44

2.6.7. Conexiones del MODBUS RTU.....	44
2.6.8. Interfaz del bus de campo Modbus RTU RS485	45
2.7. Diagramas de estado maestro / esclavo.....	45
2.8. Variador Altivar Process	45
2.8.1. Configuración del variador	46
2.8.2. Configuración de la interfaz.....	47
2.9. Introducción a la programación de PLC S7-1200.....	47
2.10. Programa Step 7 (TIA Portal).....	48
2.10.1. Topologías de la red industrial.....	49
2.10.1.1.Redes punto a punto.....	49
2.10.1.2.RS 232 full dúplex comunicación.....	50
2.10.1.3.Función lógica del RS 232.....	50
2.10.1.4.RS 485 Full dúplex comunicación.....	51
2.11. Definición de términos básicos.....	52
Capítulo III.....	54
Metodología de la investigación.....	54
3.1. Método general de la investigación.....	54
3.2. Alcance de la investigación.....	54
3.3. Tipo de investigación	55
3.3.1. Nivel de investigación.....	55
3.3.2. Método de investigación	55
3.3.3. Diseño de la investigación	55
3.4. Población y muestra	56
3.4.1. Población	56
3.4.2. Muestra	56
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	57
3.5.1. Técnicas empleadas	57
3.5.2. Estadístico utilizado.....	57
Capítulo IV	59
Resultados y discusión	59
4.1. Propuesta de la solución.....	59
4.1.1. Identificación de la necesidad o problema e identificación de requerimientos.....	59
4.2. Propuesta de solución del problema.....	67
4.3. Diseño de la automatización de arranque estrella-triángulo	67
4.4. Cálculo matemático.....	68
4.4.1. Cálculo de interruptor eléctrico primario.....	69
4.4.2. Contactores auxiliares M1 y M2.....	69

4.4.3. Conductor eléctrico principal calculado	69
4.4.4. Tabla de conductores	70
4.4.5. Selección del contactor	70
4.4.6. Selección de interruptor termomagnético	70
4.4.7. Relé diferencial RH99M	71
4.4.8. Descripción de componentes	71
4.4.9. Simulación de arranque CADE SIMU	71
4.4.10. Simulación en CADE SIMU	73
4.5. Sistema de ventilación actual	73
4.6. Resultados reales de medición protocolo MODBUS - SENTRON PAC4200.....	78
4.7. Resultados de consumo y potencia automatizada	83
4.8. Pruebas de hipótesis	89
4.8.1. Hipótesis específica	89
4.8.1.1. Potencia del área de Ventilación	89
4.8.1.2. Energía del área de Ventilación	91
4.8.1.3. Costo de peaje del área de Ventilación	93
4.8.2. Hipótesis general: facturación de energía	94
Conclusiones	97
Recomendaciones	99
Lista de referencias	100
Anexos	102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables	22
Tabla 2. Componentes visuales comunes de controladores lógicos	30
Tabla 3. Herramientas de gestión de parámetros eléctricos	30
Tabla 4. Composición de aire seco	33
Tabla 5. Códigos de clase 0	43
Tabla 6. Códigos de clase 1	44
Tabla 7. Códigos de clase 2	44
Tabla 8. Consumo, facturación, energía y potencia del área de Ventilación	60
Tabla 9. Medición del sistema asociado con los controladores actuales del área de Ventilación	61
Tabla 10. Conductores	70
Tabla 11. Descripción de componentes	71
Tabla 12. Medición de ventiladores primario y secundario y dispositivos asociados de la solución	80
Tabla 13. Consumo, facturación, energía y potencia del área de Ventilación	84
Tabla 14. Resultados de potencia del área de Ventilación	89
Tabla 15. Hipótesis alterna y nula del consumo	90
Tabla 16. Resultados de consumo de energía del área de Ventilación	91
Tabla 17. Hipótesis alterna y nula de la energía	92
Tabla 18. Resultados de consumo de energía del área de Ventilación	93
Tabla 19. Hipótesis alterna y nula del costo de peajes	93
Tabla 20. Resultados de consumo de energía del área de Ventilación	94
Tabla 21. Hipótesis alterna y nula de la facturación	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ejemplo de cableado multipar 2 x 2	29
Figura 2. Controlador lógico programable.....	31
Figura 3. Tipos de comunicación.....	32
Figura 4. Primera ley de Kirchhoff.....	34
Figura 5. Segunda ley de Kirchhoff.....	35
Figura 6. Caudal vs. presión	36
Figura 7. Ventilador centrífugo.....	37
Figura 8. Ventilador de hélice.....	38
Figura 9. Ventilador axial	38
Figura 10. Comunicación MODBUS RTU.....	39
Figura 11. Configuración de primer paso	39
Figura 12. Configuración de segundo paso.....	40
Figura 13. Configuración de tercer paso.....	40
Figura 14. Comunicación entre dispositivos MODBUS-RS485.....	41
Figura 15. Red MODBUS RTU (Master-Slave).....	42
Figura 16. Equipos que pueden tener comunicación MODBUS RTU	42
Figura 17. Mensajes del MODBUS	43
Figura 17. Conexiones del MODBUS RTU	44
Figura 19. Interfaz del bus de campo MODBUS RTU RS485	45
Figura 20. Configuración del variador.....	46
Figura 21. Configuración de la interfaz del variador	47
Figura 22. Partes externas del PLC S7-1200	48
Figura 23. Vista del portal	49
Figura 24. Vista del proyecto.....	49
Figura 25. Sistema de comunicación	50
Figura 26. Función lógica	51
Figura 27. Sistema de comunicación	52
Figura 28. Función lógica de señales del RS 485	52
Figura 29. Desempeño de la potencia en el periodo 2022	62
Figura 30. Desempeño del precio unitario de potencia en el periodo 2022.....	63
Figura 31. Desempeño del precio unitario de potencia en el periodo 2022.....	63
Figura 32. Desempeño del costo de potencia en el periodo 2022.....	64
Figura 33. Desempeño del precio unitario de energía en el periodo 2022.....	64
Figura 34. Desempeño del costo por unidad de energía 2022	65
Figura 35. Desempeño del costo por peajes 2022.....	65

Figura 36. Desempeño del total ejecutado de facturación sin IGV 2022.....	66
Figura 37. Desempeño del costo unitario total 2022	67
Figura 38. Arranque estrella-triángulo.....	68
Figura 39. Placa de identificación del ventilador.....	69
Figura 40. Diagrama de fuerza y diagrama de mando propuesto	72
Figura 39. Simulación de un variador de velocidad.....	73
Figura 42. Sistema de ventilación actual Nexa – Pasco.....	74
Figura 43. Ventilación secundaria	74
Figura 44. Datos técnicos de placa del ventilador	75
Figura 45. Resultados del HMI del variador.....	76
Figura 46. Diagrama unifilar Schneider Altivar Process	77
Figura 47. Esquema de Nexa y circuito de mando propuesto.....	78
Figura 48. Esquemático de alimentación	78
Figura 49. Eficiencia de equipos del área de Ventilación, periodo 2022 – 2023.....	82
Figura 50. Comparación de caudal máximo de aire registrado por ventiladores primarios y secundarios.....	82
Figura 51. Resultados finales de potencia facturada 2022 – 2023.....	85
Figura 52. Resultados finales de consumo de energía 2022 – 2023	85
Figura 53. Resultados finales de precio unitario de potencia 2022 – 2023.....	86
Figura 54. Resultados finales del costo por potencia 2022 – 2023.....	86
Figura 55. Resultados finales del precio unitario por energía 2022 – 2023.....	87
Figura 56. Resultados finales del costo por energía 2022 – 2023.....	87
Figura 57. Resultados finales del costo por peajes 2022 – 2023	88
Figura 58. Resultados finales del costo total ejecutado 2022 – 2023	88
Figura 59. Resultados finales del costo unitario total 2022 – 2023	89
Figura 60. Resultados de prueba de hipótesis del consumo de potencia	90
Figura 61. Resultados de prueba de hipótesis de energía	92
Figura 62. Resultados de prueba de hipótesis del costo de peajes	94
Figura 63. Resultados de prueba de hipótesis de la facturación	95

RESUMEN

El siguiente proyecto responde al problema ¿Cómo sería la automatización del área de ventilación de voladura para reducir el consumo de energía eléctrica en la minera Nexa, Pasco 2024?, como objetivo principal lo que se busca es elaborar la automatización del sistema de ventilación para reducir el consumo de energía eléctrica en la mina subterránea Nexa, Pasco 2024, mediante la programación de los interruptores de protecciones y aplicando protocolos de comunicaciones que permitan la comunicación, se profundizan los estudios de ventilación en minería y la programación, diagrama, digitalización y codificación de los protocolos de comunicaciones y esquematizado de los diagramas de mando y potencia, utilizando distintos programas como TIA Portal, CADE SIMU, etc. El diseño fue el correlacional, la muestra es unitaria, estuvo constituida por al área de Ventilación de la Cía. minera Nexa Pasco. El estudio concluye con los resultados de los parámetros eléctricos presentados posterior a la instalación del sistema de digitalización y comunicación, demostrando su funcionalidad y sustento estadístico, se utilizó la prueba *t* de Student para la validación respectiva y practicidad en campo, también se enmarcan las preguntas específicas como la elección del sistema de digitalización como el CADE SIMU, las características del protocolo de comunicación del sistema de fuerza y mando, así como, los parámetros de medición aplicados para la obtención de sus datos.

Palabras claves: gestión de reclamos, indicadores de eficiencia, interrupciones eléctricas

ABSTRACT

The following project responds to the problem: How would the automation of the blasting ventilation area be to reduce electrical energy consumption at the Nexa mining company, Pasco 2024? The main objective is to develop the automation of the ventilation system to reduce the consumption of electrical energy in the Nexa underground mine, Pasco 2024, by programming the protection switches and applying communications protocols that allow their communication, the mining ventilation studies and the programming, diagram, digitization and coding of communications protocols and schematization of control and power diagrams using different programs such as TIA Portal, CADE SIMU, Scada, etc. The design was simple descriptive, the sample is unitary, it consisted of the ventilation area of the Nexa Pasco mining company. The study concludes with the results of the electrical parameters presented after the installation of the digitization and communication system, demonstrating its functionality and practicality in the field. Specific questions are also framed, such as the choice of the digitization system such as Scada, the characteristics of the protocol. of communication of the force and command system, as well as the measurement parameters applied to obtain its data.

Keywords: complaints management, efficiency indicators, electrical interruptions