



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ELÉCTRICA**

**Sistema de automatización en los equipos de ventilación  
principales para la reducción del consumo de energía en  
Minería Subterránea**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
Ingeniero Mecánico Electricista**

**AUTORES:**

Reyes Rodríguez, Carlos Dahir (orcid.org/0000-0002-1505-7398)

Rodríguez Vaca, Melqui Melquisidec (orcid.org/0000-0002-0414-2140)

**ASESOR:**

Dr. Luján López, Jorge Eduardo (orcid.org/0000-0003-1208-1242)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Modelamiento y Simulación de Sistemas Electromecánicos

**LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:**

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

TRUJILLO – PERÚ

2023

## **Dedicatoria**

A Dios, por permitirme llegar a esta etapa de mi vida. A mis padres por ser las personas que me acompañaron durante el desarrollo, apoyándome en este arduo camino para convertirme en un futuro profesional. A los docentes encargados del presente curso, que nos han guiado en todo momento con su asesoría y experiencia.

**Bach. Rodríguez Vaca, Melqui Melquisidec**

A mi esposa e hijo por entender y apoyarme en este proceso importante en mi vida, a mis padres por brindarme la oportunidad de empezar e impulsarme a continuar con los objetivos planteados en mi vida.

**Bach. Reyes Rodríguez, Carlos Dahir**

## **Agradecimiento**

Agradecemos a la universidad por brindarnos un ambiente propicio para el desarrollo profesional y personal. A nuestros familiares por su continuo apoyo a lo largo de nuestra vida académica.

Agradecemos también a los profesores que nos asesoraron en el desarrollo de esta tesis y por su continuo aporte al desarrollo de nuestro tema de investigación.

## Declaratoria de autenticidad del asesor



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

### Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, JORGE EDUARDO LUJÁN LÓPEZ, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, asesor de Tesis titulada: "Sistema de automatización en los equipos de ventilación principales para la reducción del consumo de energía en minería subterránea.", cuyos autores son RODRIGUEZ VACA MELQUI MELQUISIDEC, REYES RODRIGUEZ CARLOS DAHIR, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 19.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

TRUJILLO, 08 de Diciembre del 2023

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
JORGE EDUARDO LUJÁN LÓPEZ DNI: 17897692 ORCID: 0000-0003-1208-1242	Firmado electrónicamente por: JLUJAN el 08-12- 2023 07:03:17

Código documento Trilce: TRI - 0688513

## Declaratoria de originalidad de los autores



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

### Declaratoria de Originalidad de los Autores

Nosotros, RODRIGUEZ VACA MELQUI MELQUISIDEC, REYES RODRIGUEZ CARLOS DAHIR estudiantes de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, declaramos bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis Completa titulada: "Sistema de automatización en los equipos de ventilación principales para la reducción del consumo de energía en minería subterránea.", es de nuestra autoría, por lo tanto, declaramos que la Tesis Completa:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. Hemos mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

<b>Nombres y Apellidos</b>	<b>Firma</b>
CARLOS DAHIR REYES RODRIGUEZ <b>DNI:</b> 72565700 <b>ORCID:</b> 0000-0002-1505-7398	Firmado electrónicamente por: CDREYESR el 08-12-2023 18:40:12
MELQUI MELQUISIDEC RODRIGUEZ VACA <b>DNI:</b> 47872589 <b>ORCID:</b> 0000-0002-0414-2140	Firmado electrónicamente por: MRODRIGUEZM12 el 08-12-2023 22:03:19

Código documento Trilce: TRI - 0688511

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

Carátula.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Declaratoria de autenticidad del asesor.....	iv
Declaratoria de originalidad de los autores.....	v
Índice de contenidos.....	vi
Índice de tablas.....	vii
Índice de gráficos y figuras.....	viii
Resumen.....	ix
Abstract.....	x
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
III. METODOLOGÍA.....	10
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	10
3.2. Variables y operacionalización.....	10
3.3. Población, muestra, muestreo.....	11
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	11
3.5. Procedimientos.....	12
3.6. Método de análisis de datos.....	12
3.7. Aspectos éticos.....	13
IV. RESULTADOS.....	14
V. DISCUSIÓN.....	49
VI. CONCLUSIONES.....	52
VII. RECOMENDACIONES.....	53
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>54</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>60</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Costo de consumo de energía desde el mes de enero hasta el mes de julio del 2023. ....	21
Tabla 2. Componentes del sistema de control. ....	22
Tabla 3. Datos del proceso.....	41
Tabla 4. Datos del consumo de energía con sistema de automatización.....	43
Tabla 5. Datos comparativos sin automatización y con automatización.....	44
Tabla 6: Costo del tablero de respaldo de energía.....	45
Tabla 7: Costo del tablero de control.....	46
Tabla 8: Análisis de consumo de energía durante de 7 meses. ....	47
Tabla 9: Análisis costo beneficio del sistema de automatización. ....	48
Tabla 10 .....	60
Tabla 11 .....	61

## ÍNDICE DE GRÁFICOS Y FIGURAS

Figura 1. Datos del motor del ventilador principal .....	ix
Figura 2. Datos del variador de frecuencia.....	18
Figura 3. Pinza amperimétrica.....	19
Figura 4. Arquitectura de red del proyecto .....	23
Figura 5. Diagrama de flujo del proceso.....	27
Figura 6. Vista del programa con lenguaje de bloques funcionales. ....	29
Figura 7. Bloque de control para variador Power Flex en Studio 5000. ....	30
Figura 8. Bloque de control para válvula dámper de control en Studio 5000 .....	31
Figura 9. Bloque de control para variable analógica de temperatura en Studio 5000	31
Figura 10. Rutina de lectura de data para transmisor gas AQS en Studio 5000 .....	32
Figura 11. Scada de la integración de los ventiladores principales.....	32
Figura 12. Objetos en scada de motor y control de gases. ....	33
Figura 13. Faceplate para el control de motor-variador del ventilador principal. ....	33
Figura 14. Pantalla de registro de alarmas y eventos en el Faceplate del motor. ....	34
Figura 15. Sensor AQS montado en campo.....	35
Figura 16. Válvula dámper montado en campo.....	36
Figura 17. Variador PowerFlex 755 montado en tablero de potencia en campo. ....	37
Figura 18. Sistema de control montado en tablero de control en campo. ....	38
Figura 19. PLC Compact Logix montado en tablero de control en campo. ....	38
Figura 20. Pruebas de Scada para funcionamiento del sistema de ventilación. ....	39
Figura 21. Cumplimiento de las pruebas y la capacitación del personal .....	40
Figura 22. Diagrama de funcionamiento desde el scada. ....	42

## Resumen

El presente trabajo realizado tuvo como objetivo principal evaluar un sistema de automatización para reducir el consumo de energía eléctrica de los equipos de ventilación en una minera subterránea. La investigación desarrollada tiene enfoque cuantitativo, es de tipo aplicada, diseño pre experimental con un nivel explicativo. Se evaluó el comportamiento del ventilador principal marca REMOVEX AB, modelo LMT-710.2 de 200 kW, al analizar el consumo de energía durante un mes, fue posible identificar que se genera un alto costo de energía, ya que su funcionamiento se da en su máxima capacidad durante las 24 horas al día. Al analizar la problemática, se realizó la puesta en funcionamiento de la metodología SCADA; donde se han usado sensores, actuadores y variadores de frecuencia, entre otros elementos, que permitieron un óptimo funcionamiento acorde a la necesidad, recortar tiempos de encendido y apagado, monitoreo constante de los equipos. Gracias a ello se logró disminuir los costos energéticos en un 40%; en cuanto al presupuesto de implementación se tuvo un costo total de \$ 50 395,23, al evaluar las mejoras se encontró que tanto las propuestas como el presupuesto son viables para la empresa minera.

**Palabras clave:** Automatización, energía, consumo energético, minería subterránea, ventiladores.

## **ABSTRACT**

The main objective of this work was to evaluate an automation system to reduce the electrical energy consumption of ventilation equipment in a subway mine. The research developed has a quantitative approach, is of applied type, pre-experimental design with an explanatory level. The behavior of the main fan REMOVEX AB, model LMT-710.2 of 200 kW, was evaluated, when analyzing the energy consumption during a month, it was possible to identify that it generates a high energy cost, since its operation is at its maximum capacity 24 hours a day. After analyzing the problem, the SCADA methodology was implemented; where sensors, actuators and frequency variators, among other elements, have been used, which allowed an optimal operation according to the need, cutting on and off times, constant monitoring of the equipment. Thanks to this, energy costs were reduced by 40%; as for the implementation budget, the total cost was \$ 50,395.23. When evaluating the improvements, it was found that both the proposals and the budget are viable for the mining company.

**Keywords:** Automation, energy, energy consumption, underground mining, fans.

## I. INTRODUCCIÓN

La función esencial del sistema de ventilación de la mina es proporcionar aire fresco a los trabajadores y equipos subterráneos y diluir los gases nocivos como el metano. Para garantizar la seguridad de los trabajadores subterráneos, es necesario proporcionar aire fresco a los trabajadores subterráneos de forma continua (Yu, Shao 2022a).

La sostenibilidad del sector minero depende de las mejoras en la eficiencia operativa (Kumar, Maity, Kirar 2022). La sostenibilidad de la industria minera depende de la capacidad de la industria para mejorar el status de la eficiencia operativa (Nel et al. 2019a). La intensidad energética de los requisitos ambientales en las minas de carbón supera el 20% del costo de producción, mientras que el 40% de la electricidad se gasta de manera ineficiente (Makarov et al. 2021a).

La competitividad de las empresas, su eficiencia entra en conflicto con la intensidad energética del proceso tecnológico auxiliar que garantiza la seguridad ambiental. La ineficiencia de la seguridad aerogásica dinámica dificulta el uso de tecnologías innovadoras de aprovechamiento del subsuelo (Makarov et al. 2021a)

Los gases de mina se desarrollaron durante las voladuras. La cantidad de gas dentro de los depósitos de carbón depende del: nivel de voladura, cantidad de punta de mina y de las condiciones que han contribuido a mantener el gas dentro del socavón. Los gases de mina están poniendo en peligro la operación minera por lo que es necesario asegurar su dilución o extracción (Skvarekova, Rimar, Kizek 2022). “La falla del sistema de ventilación de la mina es un evento que consiste en tal cambio en sus parámetros, en el cual el flujo de aire en las labores es menor al requerido” (Skopintseva, Balovtsev 2021).

La empresa minera subterránea, ubicada en el distrito Pataz, departamento de La Libertad, el área de ventilación cuenta con equipos instalados en interior mina, estos ventiladores están ubicados en puntos estratégicos y zonas alejadas por lo que el personal encargado tiene que llegar hasta dicho punto siendo el más alejado a una hora para encender los ventiladores principales ya que por algún motivo dejaron de funcionar, no existe algún control de estos equipos no hay una base de datos para saber el motivo de fallas y el tiempo de funcionamiento, además de generar riesgos en la parte operativa debido a la propagación de gases que se da de manera acelerada y algunas ocasiones pasa desapercibida.

Por otro lado, la no presencia de gases y el continuo funcionamiento de los equipos incrementan los costos de energía y reducen la vida útil de los equipos. La empresa ha registrado que el 80% de las fallas se debe al suministro eléctrico, el 20% a problemas de aislamiento y recalentamiento de conductores.

Además, la emisión de gases tóxicos continuos provoca que los operadores retrasen sus labores diarias. Pero a pesar de que la empresa cuenta con estos reportes, no se toman las acciones pertinentes, no haciendo la implementación de un sistema de automatización para los equipos de ventilación en interior mina.

Al suscitarse estos problemas la empresa genera un costo elevado en el área de mantenimiento por lo que el personal tiene que acercarse hasta los ventiladores principales dejando sus demás funciones. El funcionamiento de los equipos de manera excesiva fuera de su función real, produce un aumento del costo de energía. La absorción de los gases en interior mina produce daños a la salud de los empleados, además pérdida de horas hombre y retraso en las labores.

La realidad problemática expuesta conlleva a plantear la siguiente formulación del problema: ¿Cuál es el impacto de la implementación de un sistema de automatización en el consumo de energía de los equipos de ventilación de una minera subterránea?; y las siguientes preguntas específicas: ¿Cuál es el consumo de energía de los equipos de ventilación de una minera subterránea?, ¿Cómo implementar un sistema de automatización para los equipos de ventilación de una minera subterránea?, ¿Cuáles es el consumo de energía de los equipos de ventilación al implementar un sistema de automatización en una minera subterránea?, ¿Cuál la ventaja económica al implementar un sistema de automatización de los equipos de ventilación en una minera subterránea?

La investigación tiene justificación desde el enfoque económico, dado que la confiabilidad operacional de los equipos de ventilación está relacionada directamente con los costos de energía eléctrica” (Pérez 2016). Desde el enfoque laboral, se tendrá un mayor control de la presencia de los gases generados por el proceso de voladura, manteniendo en condiciones óptimas el área de trabajo, evitando posibles daños” (Orche 2020). Desde el enfoque ambiental, una buena automatización de los equipos ventilación permite usar los equipos de manera controlada y tener una reducción de las pérdidas de calor al medio ambiente” (Vilela,2020).

Para dar respuesta a la problemática, se plantea el siguiente objetivo general: Evaluar el impacto de la implementación de un sistema de automatización en el consumo de energía de los equipos de ventilación de una minera subterránea. Para lograr el desarrollo del objetivo general, se proyectan los sucesivos objetivos específicos: Determinar el consumo de energía de los equipos de ventilación de una minera subterránea. Implementar un sistema de automatización para los equipos de ventilación de una minera subterránea. Determinar el consumo de energía de los equipos de ventilación al implementar un sistema de automatización en una minera subterránea. Elaborar un análisis económico al implementar un sistema de automatización de los equipos de ventilación en una minera subterránea.

Para dar respuesta a la formulación del problema, se plantea la siguiente hipótesis: La implementación de un sistema de automatización reduce el consumo de energía de los equipos de ventilación de una minera subterránea.

## II. MARCO TEÓRICO

En la investigación de (Zhou *et al.* 2019), realizaron una revisión de los métodos existentes y ejemplos de la implementación de sistemas automatizados de control de ventilación de minas en Rusia y en el extranjero. Dos de los conceptos más conocidos para el desarrollo de dichos sistemas son los sistemas de control de ventilación automatizados AVCS (*Automated Ventilation Control Systems*) en Rusia y los países de la CEI (*Commonwealth of Independent States*) y la ventilación bajo demanda VOD (*Ventilation on Demand*) en el extranjero. Se describen las principales estrategias de gestión de la ventilación en el marco de los conceptos AVCS y VOD y también se muestran las diferencias clave entre ellas. Una de las diferencias clave entre AVCS y VOD en la actualidad es la determinación automática de los parámetros de funcionamiento de las unidades de ventilación y las puertas de ventilación utilizando el algoritmo de control óptimo, que es una parte integral del AVCS. Mediante su estudio describen el algoritmo de control óptimo desarrollado por el equipo del Instituto de Minería de la Rama Ural de la Academia de Ciencias de Rusia con la participación de los autores del artículo. En este algoritmo, la búsqueda de la distribución óptima del aire la realiza el sistema de forma totalmente automatizada en tiempo real mediante algoritmos programados en los microcontroladores de ventiladores y puertas de ventilación. La minimización del consumo de energía se logra gracias a la selección más eficiente de la velocidad del ventilador y la tasa de apertura de las puertas de ventilación y también debido al control de cambio de distribución de aire y la introducción de sistemas de recirculación de aire parcial.

Según (Wang *et al.* 2019), en una investigación realizada en China, indicaron que el sistema de conmutación del ventilador principal de la mina (MMFSS) es crucial para la producción segura de la mina. MMFSS consta de dos ventiladores principales (uno en funcionamiento y otro en espera), y cada ventilador principal está equipado con una puerta de aire vertical y una puerta de aire horizontal. El objetivo principal de MMFSS es garantizar la estabilidad de la cantidad de flujo de aire subterráneo y lograr una ventilación satisfactoria durante el cambio. Además, se debe garantizar la operación segura y económica de la producción minera. En este artículo, se considera el problema de modelado y control de MMFSS. Primero, basado en la teoría de la red de flujo de fluidos, el modelo mínimo de MMFSS se

construye combinando la dinámica de fluidos de rama con el concepto de teoría de grafos. Luego, la teoría de la estabilidad de Lyapunov desarrolla un controlador descentralizado que considera completamente la regulación del cabezal de presión de dos ventiladores principales. El controlador puede garantizar que las cuatro puertas de aire puedan cumplir con los requisitos tecnológicos. Finalmente, los resultados propuestos se conforman utilizando simulaciones en una plataforma de simulación semi física para MMFSS (Wang *et al.* 2019).

En una siguiente búsqueda (Liu *et al.* 2020), indican que; los ventiladores suelen estar diseñados para cumplir con los máximos requisitos del túnel. Durante la construcción del túnel, el uso real del túnel puede ser significativamente menor que la capacidad calculada del ventilador. Esto da como resultado un alto consumo de energía y una baja eficiencia. Por lo tanto, existe la necesidad de un sistema que pueda analizar inmediatamente el entorno del túnel y calcular la necesidad real de construcción del túnel. En este estudio, se desarrolla un sistema de control de frecuencia inteligente (TVIC – *Intelligent Frequency Control System*) basado en una red neuronal de función de base radial (RBF NN) para ventilación de túneles. Como tipo de red neuronal de avance, la red neuronal RBF se utiliza para derivar la relación entre la frecuencia de funcionamiento del ventilador y diversas concentraciones de contaminantes, la longitud del túnel y la temperatura. El TVIC consta de un sistema de monitoreo de seguridad, un sistema de control, un sistema de comunicación y un ventilador de frecuencia variable (VFD). Puede ajustar la frecuencia del ventilador según el entorno de construcción del túnel y se ha utilizado en el túnel suroeste de Huayingshan durante un año y medio. Además, también muestra una buena confiabilidad y una mejora satisfactoria del entorno del túnel y capacidades de ahorro de energía. En comparación con el método de control manual actual, se observó que el sistema de ventilación reduce el consumo de electricidad en un 42 % después de usar TVIC.

También en su investigación de (Jha, Tukkaraja 2020), realizada en el departamento de Ingeniería y Gestión Minera, SDSM&T, Rapid City, SD 57701, EE. proponen analizar el concepto de monitoreo y evaluación en tiempo real de las condiciones climáticas en una mina subterránea típica, utilizando sensores y herramientas GIS utilizando un modelo a escala de laboratorio. Se desarrolló un sistema básico de monitoreo atmosférico, un microcontrolador Arduino con

monóxido de carbono y sensores de temperatura y humedad, con fines de prueba de concepto; se utilizó en un entorno de laboratorio y los datos obtenidos de diferentes sensores atmosféricos se mostraron en una plataforma de sistema de información geográfica (SIG) que ofrecía la capacidad de visualizar las condiciones atmosféricas en un contexto espacial, predecir riesgos potenciales e implementar técnicas de mitigación apropiadas.

Por otro lado, (Nel *et al.* 2019), en una investigación llevada a cabo en minas de Sudáfrica, realizó una extensa auditoría energética en diez redes de ventilación de minas para calcular la factibilidad. La auditoría energética reveló que se podría lograr un ahorro total anual de energía eléctrica de 179 421 MWh con la implementación de las aplicaciones de ventilación bajo demanda. El ahorro de costos resultante se estima en US\$11,57 millones con un período de recuperación promedio de 9 meses. La reducción media de las emisiones de gases de efecto invernadero se calcula en un 53 % anual. Se comprobó la viabilidad de instalar variadores de velocidad de voltaje medio en ventiladores de ventilación de minas sudafricanas como parte de las aplicaciones de ventilación según demanda para mejorar la eficiencia y reducir las emisiones. Los resultados enfatizan la importancia de tales auditorías para ilustrar los recursos utilizados disponibles para aumentar la sostenibilidad de la mina y, posteriormente, la rentabilidad.

Entre algunas investigaciones realizadas se encontró a (Makarov *et al.* 2021b), quienes desarrollaron un modelo matemático de control activo de los parámetros aerodinámicos de las turbomáquinas en la ciudad de Ekaterimburgo - Rusia. El modelo matemático se basa en el método de las transformaciones conformes, la teoría de los residuos, ecuaciones singulares. Utilizando la analogía hidrodinámica se obtiene la dependencia de la posición de los puntos críticos de los perfiles con la circulación del flujo. Se ha establecido la dependencia de la carga aerodinámica, la adaptabilidad de los ventiladores de mina sobre la posición del punto crítico efectivo y las características energéticas de la fuente de control para el flujo alrededor de las palas del impulsor. Se ha patentado el diseño del impulsor de un ventilador de mina con un método de control de circulación de energía, que utiliza el flujo de aire de la carcasa del ventilador como fuentes. Se propone un método y dispositivo eficaz para su implementación, que mejora significativamente la adaptabilidad y carga aerodinámica de los ventiladores de mina. Se creó un

diseño aerodinámico del Ts 142-16 y sobre esta base, se propuso un ventilador de escape de gas VCG-7V con una carga aerodinámica aumentada en un 35% y adaptabilidad en un 50%.

Además, (Rodríguez, Franco, Rosero 2022), en su investigación, realiza y presenta un modelado no lineal y una estrategia para el control del flujo de aire en redes de ventilación de minas subterráneas de pequeña escala. Con el fin de regular el flujo de aire en redes de ventilación subterránea de pequeña escala, se considera el número de sensores y actuadores como una limitante para la instalación práctica. Este trabajo presenta una alternativa para el modelado de la red, con control directo del flujo de aire en cada túnel, a través de la variación de velocidad de los ventiladores disponibles en la superficie externa de la mina. Se presenta un modelo de espacio de estado y se diseña un controlador cuadrático lineal con acción integral y un estimador de estado. Para llevar a cabo el desarrollo de la investigación, se presenta un sistema de red de ventilación para una mina de pequeña escala con nueve ramas (túneles) y dos actuadores (ventiladores). La reducción de los costos de implementación de sensores y actuadores del trabajo subterráneo del carbón en este campo podría incluir la realización de armijo el número mínimo de sensores en las diferentes topologías de ventilación de la mina.

En otra investigación (Yu, Shao 2022), al realizar su investigación en la Universidad Técnica de Liaoning, Liaoning 125105, China, proponen un sistema de conmutación non-stop de los ventiladores principales de la mina basado en un control inteligente y establece un modelo de optimización dinámica para el proceso de conmutación de los ventiladores principales de la mina. El algoritmo del optimizador de equilibrio se mejora mediante el mapeo del caos y la máquina de aprendizaje de oposición basada en el principio de refracción para resolver el modelo, y el experimento de simulación se lleva a cabo con MATLAB. Los resultados de la simulación muestran que la tasa de cambio de la cantidad de aire subterráneo es siempre inferior al 0,4 % durante los 120 s de funcionamiento del sistema de cambio de ventilador, y los puntos de funcionamiento de los dos ventiladores principales siempre se encuentran en el intervalo de trabajo estable sin saltos repentinos. Lo que demuestra la eficiencia y seguridad del sistema.

En investigaciones realizadas a nivel nacional se encontró a (Aranda 2020), quien es su investigación desarrollada en compañía minera Raura S.A. ubicada entre los distritos de san miguel de cauri (provincia de Lauricocha, departamento de Huánuco) y Oyón, (provincia de Oyón, departamento de Lima), buscó determinar el control de gases presentes en interior mina con la optimización de los sistemas de ventilación, para ello se realizó la implementación del sistema SCADA a los equipos de ventilación, seguidamente se realizaron análisis de datos arrojados por los equipos mediante los cuales se pudo notar un aumento significativo en cuanto a la eficiencia, la disminución en costos de energía y una disminución en horas operativas de funcionamiento.

Un sistema de automatización se puede definir como una tecnología referida a procesos controlados por medio de instrucciones; esto implica operar o actuar o autorregularse, de forma independiente, sin intervención humana (Pérez 2015). El rendimiento de cualquier ventilador de ventilación principal se puede caracterizar por su curva de rendimiento, que a menudo proporciona el fabricante del equipo original (OEM) con la compra (De Souza 2015).

Un sistema automatizado permite ahorrar tiempo durante la ejecución de los procesos, además éstos se ejecutan con mayor precisión y exactitud, lo cual indica el grado de concordancia entre los resultados obtenidos al aplicar el mismo proceso experimental repetidas veces (Cardona, Escobar, Moncada 2020). El costo se define como una estrategia para alcanzar la competitividad, el cual depende del tiempo de operatividad y el índice de producción (López, Corrales, Parra 2017). El tiempo de trabajo de los equipos de ventilación y horas de trabajo de personal de operación, sumado a la frecuencia regulada de equipos de ventilación, según contexto del interior de la mina ayudará a tener una reducción de costos en el consumo energético de los equipos de ventilación, como recurso valioso, la automatización debe ayudar a liberar tiempo para que los empleados puedan concentrarse sin quitarle ni la importancia a sus demás labores (Carrillo, Rojas 2013).

Los sistemas de automatización permiten añadir precisión (además de velocidad) a los procesos, ya que eliminan nuestros límites naturales (cansancio, distracción, enfermedad, necesidades fisiológicas) (Nieto 2006). La automatización debe ayudar a reducir los costos, ya sea a través de la reducción de horas hombre

y la optimización de los procesos” (Acuña 1990).

Por otro lado, podemos decir que el consumo de energía es una propiedad de la materia que se puede disipar en forma de trabajo, calor o radiación, en conclusión, se puede decir que es la cantidad total de energía que se necesita para un proceso determinado (Pop *et al.* 2022).

La arquitectura de red es la interconexión lógica y física de todos los elementos entre la generación de una señal y su terminación (Large, Farmer 2009). La arquitectura de red utilizada se define por la topología de los nodos y segmentos de cable, el enrutamiento de fibras ópticas en segmentos de cable y la ubicación de las conexiones físicas y lógicas entre nodos (Lentz 2016).

El consumo de energía se refiere a toda la energía utilizada para realizar una acción (Esen, Bayrak 2017) . El consumo de energía se define a partir de; la energía consumida que viene a ser; el área bajo la curva de la potencia”. Cabe resaltar que, para obtener el costo de energía eléctrica se obtiene de multiplicar la energía consumida por el tiempo de operación y el precio de la energía eléctrica en kWh establecida por la compañía de servicio de electricidad (Macías García 2023).

El precio de energía se define como: “la remuneración de la inversión y los costos de operación y mantenimiento de una empresa eficiente”, y para determinarlo se utiliza el modelo de regulación por comparación o Yardstick Competition (Shleifer 1985).

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Tipo y diseño de investigación**

##### **Tipo de investigación**

Según (Serra, López, Targarona 2022), al realizar la investigación, se debe considerar la clase de investigación; ya que cada uno tiene su propia forma de investigar, en el caso de la investigación cuantitativa estudia la asociación o relación entre variables cuantificadas para medir con instrumentos. Conociendo lo anterior, este trabajo tiene por tipo de investigación cuantitativo.

##### **Diseño de investigación**

El autor (Hanberry 2022), divididos en experimentales, no experimentales con base en el diseño o control de variables; como en la Investigación experimental donde las variables se pueden manipular. Esta investigación desarrollada tiene enfoque cuantitativo, es de tipo aplicada, diseño pre experimental con un nivel explicativo.

#### **3.2. Variables y operacionalización**

##### **Variable dependiente: Consumo de energía**

###### **Definición conceptual**

El consumo de energía es la cantidad total de energía requerida para un proceso determinado, medida en kilovatios hora. (kWh) (Pop *et al.* 2022).

###### **Definición operacional**

Para obtener el consumo energético, se multiplican la energía consumida por el tiempo de operación y el precio de la energía eléctrica en kWh establecida por la compañía de servicio de electricidad (Macías García 2023).

##### **Variable independiente: Sistema de automatización**

###### **Definición conceptual**

Un sistema de automatización se puede definir como una tecnología que se refiere a un proceso controlado instrucciones programadas (Pérez 2015).

###### **Definición operacional**

Un sistema automatización de los equipos de ventilación se pueden medir en su eficiencia y que se da por el ahorro de tiempo, mayor precisión, exactitud en su funcionamiento y reducción de costos (Aranda 2020).

### **3.3. Población, muestra, muestreo**

La población, la muestra y el muestreo de esta investigación se definieron de la siguiente manera.

#### **Población**

En los artículos de (La Cuesta 2020), (Hanberry 2022), explican que una población de estudio se conceptualiza como una unidad global de estudio que contiene y se considera que posee las características deseadas. Es por ello que la población de esta investigación estuvo compuesta por los 3 ventiladores principales de tipo axial, marca REMOVEX AB, modelo LMT-710.2 de la empresa minera subterránea.

- **Criterios de inclusión:** La potencia de ventiladores que se encontró en interior mina son de 30 kW hasta 200 kW, Del total de estos ventiladores se consideran a los que son de mayor potencia y por lo cual consumen más energía eléctrica por ende la que genera mayores sobrecostos a la empresa, estos son los 3 ventiladores principales de 200 kW.

#### **Muestra**

Tomando como muestra un ventilador principal de tipo axial, marca REMOVEX AB, modelo LMT-710.2 de la empresa minera subterránea, ya que la muestra debe ser representativa de la población, este estudio requiere una gran cantidad de datos para ser analizados (La Cuesta 2020) y (Hanberry 2022).

#### **Muestreo**

Esta investigación el muestreo fue no probabilístico por conveniencia y es que según Hanberry (2022) y Gonzales et al. (2021) en el muestreo no probabilístico el investigador es quien determina las unidades y las muestras.

#### **Unidad de análisis**

La unidad de análisis será el ventilador principal de 200 kW de la empresa minera.

### **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **Técnicas de recolección de datos**

El método utilizado para obtener información de la empresa e investigar la información requerida es una revisión de documentos, que incluye un análisis de los registros de consumo de energía de la empresa y la revisión del nivel de control de energía de la empresa.

### **Instrumentos de recolección de datos**

Las herramientas relacionadas con los métodos de recopilación de datos se utilizarán las fichas de registros de documentos necesarios para la investigación.

### **Validación y Confiabilidad**

La validez de los instrumentos se realizó en clase y estuvo a cargo del docente encargado de la asesoría.

### **3.5. Procedimientos**

Se realizó la búsqueda de información de interés a través de libros y artículos relacionados con el tema elegido, como referencia puede, puede obtener una mejor comprensión del tema.

Se comenzó a comprender la realidad del problema desde una perspectiva internacional, revelando todas las desventajas o carencias de la empresa en relación al tema elegido.

La información recopilada brindó un enfoque claro para orientar el curso de la investigación, así mismo las bases sobre las cuales se deberían trabajar con más dedicación y de esa forma delimitar futuros inconvenientes. Parte de la información se usó para determinar cuánto es la cantidad de energía que puede ahorrar una empresa de minería subterránea, durante el consumo de potencia de un ventilador y proponer una mejora económica a futuro. Se utilizó recolección de datos para comprender los detalles de las mejoras energéticas requeridas, y los resultados se pueden medir en términos de ahorro de energía.

### **3.6. Método de análisis de datos**

En la presente investigación se realizó el análisis de la información de observación utilizando herramientas de recopilación de datos detallados y verificables, luego se almacenó en las computadoras personales de los estudiantes de tesis. Después de lo anterior, se procedió con el análisis de datos para obtener la información necesaria para el trabajo de investigación.

También se realizaron cálculos, primeramente, para determinar la potencia necesaria del ventilador para trabajar dentro del contexto de estudio, luego cálculos para analizar el consumo de energía antes y después de implementar el sistema de automatización, y finalmente se hizo cálculos para comparar la diferencia.

Para actividades detalladas, se utilizó herramientas digitales como: procesador de textos MS WORD donde se documenta el análisis y la interpretación de datos y luego se tabulará utilizando hojas de cálculo MS EXCEL. Finalmente, las mejoras numéricas sobre el costo energético se podrán analizar registrando los resultados del análisis de consumo de energía calculado utilizando MS EXCEL y sus hojas de cálculo.

### **3.7. Aspectos éticos**

**Acuerdo de confidencialidad con la empresa:** Este es un aspecto muy importante para la empresa minera subterránea y, por lo tanto, debió abordarse con discreción.

Además, el proyecto de investigación se tuvo en cuenta principios éticos como la autonomía, el respeto a la autoría y los derechos de autor de las fuentes de información, lo que contribuirá al desarrollo del marco teórico y del proceso metodológico del proyecto. Obligación de citar debidamente a cada autor según las normas ISO; asimismo, se respetó la libertad del individuo de participar o no en el desarrollo de esta investigación, garantiza que el proyecto no tiene como objetivo causar daño moral a las personas e instituciones involucradas.

Finalmente, al evaluar y analizar los resultados del proyecto anti plagio de Turnitin, este proyecto tuvo en cuenta los principios de objetividad y tolerancia, se niega cualquier tipo de discriminación y promete la autenticidad de los resultados de la investigación y la información.

## IV. RESULTADOS

### 4.1 Objetivo 1: Determinar el consumo de energía de los equipos de ventilación en minería subterránea.

La ventilación es una de las actividades primordiales en una minera, ya que permite gozar de un aire apto para poder realizar los diferentes tipos de trabajos (Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería 2017)

Para determinar el consumo de energía de los equipos de ventilación de una minera subterránea, se han tomado en cuenta todos los parámetros relevantes existentes dentro de las instalaciones de minería subterránea.

Según el análisis realizado por el área de ventilación se llegó a la conclusión de usar un ventilador de 100 000 CFM (Pies cúbicos por minuto); el cual será el encargado de limpiar la presencia de gases tóxicos en las labores para un mejor desempeño de los trabajadores. Para ello se ha tomado como base fundamental el reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería, en cual establece en el artículo 246; que el titular de actividad minera debe velar por el suministro de aire limpio a las labores de trabajo de acuerdo a las necesidades del trabajador, de los equipos y para evacuar los gases, humos y polvo suspendido que pudieran afectar la salud del trabajador, así como para mantener condiciones termo-ambientales confortables.

Para el presente informe de tesis, se ha tomado los siguientes aspectos establecidos según reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería.

- ❖ Toda actividad minera subterránea debe contar en el ambiente de trabajo con un mínimo de 19.5 % de oxígeno.
- ❖ La minera subterránea al estar a una altura de 3200 msnm deberá contar con 5 m<sup>3</sup>/min por cada trabajador.
- ❖ La velocidad del aire será entre 20 m/min y 250 m/min.
- ❖ Para los ventiladores principales con capacidades iguales o superiores a 2,831 m<sup>3</sup>/min o su equivalente de 100,000 CFM (Pies cúbicos por minuto), se deben instalar paneles de control que permitan su monitoreo de operación, su regulación a parámetros requeridos, la emisión de señales de alarma en caso de paradas y el arranque automático de los equipos de emergencia en caso de un corte de energía.
- ❖ El balance de ingresos y salidas de aire de la mina; la diferencia de caudales

del aire que ingresa y el aire que sale no debe exceder el 10%.

- ❖ El consumo de madera es < 20% del total de la producción, el factor de producción es 0 m<sup>3</sup> /min.
- ❖ El requerimiento de aire para los equipos que operan con motores petroleros no debe ser menor de m<sup>3</sup>/min, por la capacidad efectiva de potencia HP y en función a su disponibilidad mecánica y utilización de acuerdo a la evaluación realizada por la titular de actividad minera que considere también la altitud, el calor de los motores y las emisiones de gases y partículas en suspensión, para este caso se ha considerado 1000 HP correspondientes a los equipos motorizados.
- ❖ Para mantener la temperatura de confort en el lugar de trabajo, se debe considerar en el cálculo del requerimiento de aire una velocidad mínima de 30 m/min, cuando la temperatura se encuentre en el rango de 24°C hasta 29°C como máximo.

**4.1.1 Caudal de operación del ventilador;** para efectos de cálculo de la potencia del motor se han realizado los siguientes cálculos, guiándonos por las fórmulas propuestas en el anexo 38 del reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería.

$$Q_{To} = Q_{T1} + Q_{Fu} \quad ( 1 )$$

Donde:

$Q_{To}$  = Caudal total para la operación (m<sup>3</sup>/min)

$Q_{T1}$  = sumatoria del caudal requerido (m<sup>3</sup>/min)

$Q_{Fu}$  = caudal requerido por fugas (m<sup>3</sup>/min)

Para calcular " $Q_{T1}$ ", se tiene que tener en cuenta:

$$Q_{T1} = Q_{Tr} + Q_{Ma} + Q_{Te} + Q_{Eq} \quad ( 2 )$$

Donde:

$Q_{Tr}$  = Caudal requerido por número de trabajadores (m<sup>3</sup>/min)

$Q_{Ma}$  = caudal requerido por el consumo de madera (m<sup>3</sup>/min)

$Q_{Te}$  = caudal requerido por temperatura en las labores (m<sup>3</sup>/min)

$Q_{Eq}$  = caudal requerido por equipos con motor petrolero (m<sup>3</sup>/min)

En caudal requerido por fugas viene a ser:

$$Q_{Fu} = 15\% Q_{T1} \quad (3)$$

A continuación, realizaremos el cálculo para obtener el total de aire requerido:

$$Q_{Tr} = F * N (m^3/min) \quad (4)$$

F= caudal mínimo por persona ( $m^3/min$ ).

N= número de trabajadores.

✓  $Q_{Tr} = 4 * 250 (m^3/min)$

✓  $Q_{Tr} = 1000 (m^3/min)$

$$Q_{Ma} = T * u (m^3/min) \quad (5)$$

T= producción en toneladas métricas por guardia ( $m^3/min$ ).

u= factor de producción de acuerdo a escala.

✓ Por presentar un consumo de madera < 20% el factor "u" viene a ser cero.

✓ Por lo tanto,  $Q_{Ma} = 0$

$$Q_{Te} = V_m * A * N (m^3/min) \quad (6)$$

$V_m$ = velocidad mínima ( $m/min$ ).

A = Área de labor promedio  $m^2$ .

N =Numero de niveles con temperaturas mayor a 23 °C.

✓ Por tener los niveles de temperatura menores a 23 °C = cero, se considera que  $Q_{Te} = 0$

$$Q_{Eq} = 3 * HP * Dm * Fu (m^3/min) \quad (7)$$

HP= capacidad efectiva de potencia.

Dm= disponibilidad mecánica promedio de los equipos (%).

Fu=factor de utilización promedio de los equipos (%).

✓  $Q_{Eq} = 3 * 1000 * 0.8 * 0.6 (m^3/min)$

✓  $Q_{Eq} = 1368 m^3/min$

Entonces reemplazando en la formula (2),  $Q_{T1}$  será igual a:

$$Q_{T1} = 1000 + 0 + 0 + 1368$$

$$Q_{T1} = 2368 \text{ m}^3/\text{min}$$

Finalmente reemplazando en la fórmula (1) tenemos:

$$Q_{To} = 2368 + 15\% * 2368$$

$$Q_{To} = 2723 \text{ m}^3/\text{min}$$

A esto se le suma un factor de seguridad de 4% y obtenemos:

$$Q_{To} = 2723 + 4\% * 2723$$

$$Q_{To} = 2831.9 \text{ m}^3/\text{min} \approx 100,000 \text{ CFM}$$

**4.1.2 Datos de motor del ventilador principal:** Para el siguiente requerimiento según el cálculo anterior, donde se obtiene 100000 cfm de caudal de operación, se ha considerado un ventilador con 200 kW de potencia de la marca REMOVEX, por ser una marca que trabaja de manera continua con la empresa donde se realizará las pruebas correspondientes (ver Figura 1).



Figura 1. Datos del motor del ventilador principal

**4.1.3 Datos del variador de frecuencia (VDF);** Los variadores de frecuencia sirven para controlar de manera efectiva el arranque de motores (Álvarez 2000), en este caso considerando que el motor es de gran capacidad (200 kW), se selecciona un VDF con la potencia de 200 kW modelo Power Flex 755 de la marca Allen Bradley.

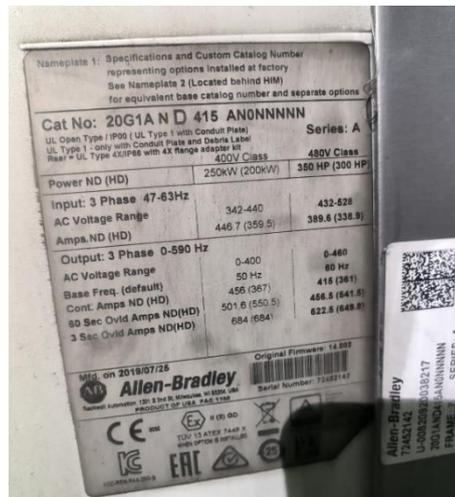


Figura 2. Datos del variador de frecuencia

**4.1.4 Equipo de medición utilizado para determinar el consumo de energía: Pinza amperimétrica**

Una pinza amperimétrica es un medidor electrónico que combina un multímetro digital básico con un sensor de corriente. Las pinzas miden la corriente y los sensores miden el voltaje (Guerrero 2023).

La pinza amperimétrica es utilizada para hacer medición del consumo del ventilador principal en amperios, y mediante la fórmula de potencia en corriente se calcula la potencia del ventilador para posteriormente calcular su consumo de energía eléctrica (Moro 2013).

En un sistema trifásico, la potencia activa se expresa de la siguiente forma (Juan García 2023):

$$P = 3I_F V_F \text{Cos}\varphi \quad ( 8 )$$

Donde:

IF = Valor de la corriente en fase, en ampere (A)

Vf = Valor del voltaje en fase, en volts (V).

$\text{Cos}\phi = \text{coseno de } \phi$ .

Aplicando la formula y haciendo uso de la pinza amperimétrica para tener la corriente de consumo del ventilador, se calcula la potencia.

$$199841,3 = \sqrt{3} * 460 * 292 * 0,86$$

El resultado obtenido en la potencia dividimos entre 1000 para tener el prefijo kW.

$$\frac{199841,3 \text{ W}}{1000} = 200 \text{ kW}$$



Figura 3. Pinza amperimétrica

Por otro lado, los variadores de frecuencia también tienen la opción de monitorear los parámetros del ventilador en funcionamiento; estos parámetros son: voltaje de salida, corriente de motor, frecuencia, rpm, potencia de salida y el bus de CC.

#### 4.1.5 Pasos que se realizó para la medición

- La medición se realizó en el variador de frecuencia ya que es quien controla al ventilador de 200 kW, teniendo en cuenta que el VDF también monitorea los distintos parámetros del ventilador.
- Para el registro de los parámetros se utilizó la pinza amperimétrica de la marca *Fluke* modelo 325.
- El periodo de medición del consumo de energía fue mensual.
- Los valores obtenidos son registrados en una hoja de cálculo Excel.

#### 4.1.6 Cálculo del consumo de energía del ventilador principal

El consumo de energía eléctrica se obtiene multiplicando la potencia del elemento eléctrico por el tiempo en horas que dura encendido durante el día y se mide en kilovatios hora (kWh) (Macías García 2023).

$$P * Hrs = kWh \quad (9)$$

P = Potencia en kW.

Hrs = Horas de funcionamiento.

kWh = kilowatt hora (consumo diario).

La fórmula indica el consumo diario para un equipo, para saber el consumo total del mes, el valor obtenido se multiplica por 30 (días del mes).

Para saber el costo del consumo de energía que genera un equipo durante un mes, se debe considerar el precio de la energía eléctrica en kWh determinada por la compañía de servicios.

Para determinar el consumo en kilowatt del ventilador principal aplicamos la fórmula 8 y 9.

$$kWh = 200 * 24$$

$$4796,19kWh$$

Cálculo del consumo de energía en un mes:

$$kWh * 30(días) = 144.000$$

Multiplicando el consumo de energía por el costo de kWh asignada por la empresa que presta servicios.

$$13.608,00 = 144.000 * 0.095$$

En el siguiente cuadro se detalla el costo de consumo de energía desde el mes de enero hasta el mes de julio del 2023.

**Tabla 1. Costo de consumo de energía desde el mes de enero hasta el mes de julio del 2023.**

<b>VARIABLE: CONSUMO DE ENERGIA</b>					Precio del tipo de cambio del dólar.		S/3.702
					US\$/kWh		0,095
<b>DATOS DEL VENTILADOR</b>					Días del Mes		30
<b>CONDIGO DE FAN</b>	<b>MARCA DE FAN</b>	<b>CAUDAL NOMINAL</b>	<b>POTENCIA EN kW</b>	<b>INDICE (kW/CFM)</b>	<b>MODELO</b>	<b>MOTOR</b>	<b>TIPO</b>
VE - 253	REMOVEX	100.000	200	0,14	LMT-400.4.10	WEG IE3	AXIAL
	<b>MES</b>	<b>TIEMPO DE OPERACIÓN (HORAS)</b>	<b>ENERGIA (kW) DIARIO</b>	<b>ENERGIA Y TIEMPO OP. (kWh)</b>	<b>COSTO DIA (US\$)</b>	<b>COSTO MENSUAL (US\$)</b>	
	ENERO	720	200	144.000	453,60	\$13.608,000	
	FEBRERO	710	190	134.900	424,94	\$12.748,050	
	MARZO	690	190	131.100	412,97	\$12.388,950	
	ABRIL	660	190	125.400	395,01	\$11.850,300	
	MAYO	720	200	144.000	453,60	\$13.608,000	
	JUNIO	720	200	144.000	453,60	\$13.608,000	
	JULIO	700	190	133.000	418,95	\$12.568,500	

Fuente: Elaboración propia

## 4.2. Objetivo 2: Implementar un sistema de automatización para los equipos de ventilación de una minera subterránea.

### 4.2.1 INGENIERIA DE DETALLE PARA EL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN

#### 4.2.1.1 Composición general

Los siguientes equipos mencionados se integraron para el funcionamiento del sistema de automatización para el control de los equipos de ventilación en una minera subterránea.

**Tabla 2.** Componentes del sistema de control.

DESCRIPCION	MODELO	MARCA	DIREC. IP
Programador Lógico Controlable	Compact Logix 5380	Allen Bradley	192.168.34.166
Variador de frecuencia	Power Flex 755	Allen Bradley	192.168.34.162
Transmisor de gases	AQS	Maestro Digital Mine	192.168.34.167

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.1.2 Arquitectura de red

La arquitectura de red del proyecto (Figura 4) se basa en tres niveles clave de comunicación. A nivel de campo se utiliza el protocolo de comunicación Ethernet IP para establecer la conexión entre el variador – PLC y Transmisor de gases - PLC, a nivel de local para comunicación con los demás PLC también se utiliza el protocolo ethernet IP permitiendo una gestión eficiente y precisa de los procesos en el entorno de producción. Por otro lado, a nivel de supervisión, se implementa una infraestructura Ethernet que aprovecha la capa física de fibra óptica, especialmente necesaria para garantizar la transmisión de datos confiable en distancias considerablemente largas. Esta red de fibra óptica se conecta al servidor de base de datos, y desde allí, se integra con la red Ethernet general, permitiendo que los datos sean accesibles y visualizables desde todas las estaciones de operación y control distribuidas en la instalación. Esta arquitectura proporciona una solución robusta y eficiente para la gestión y supervisión de los procesos industriales.

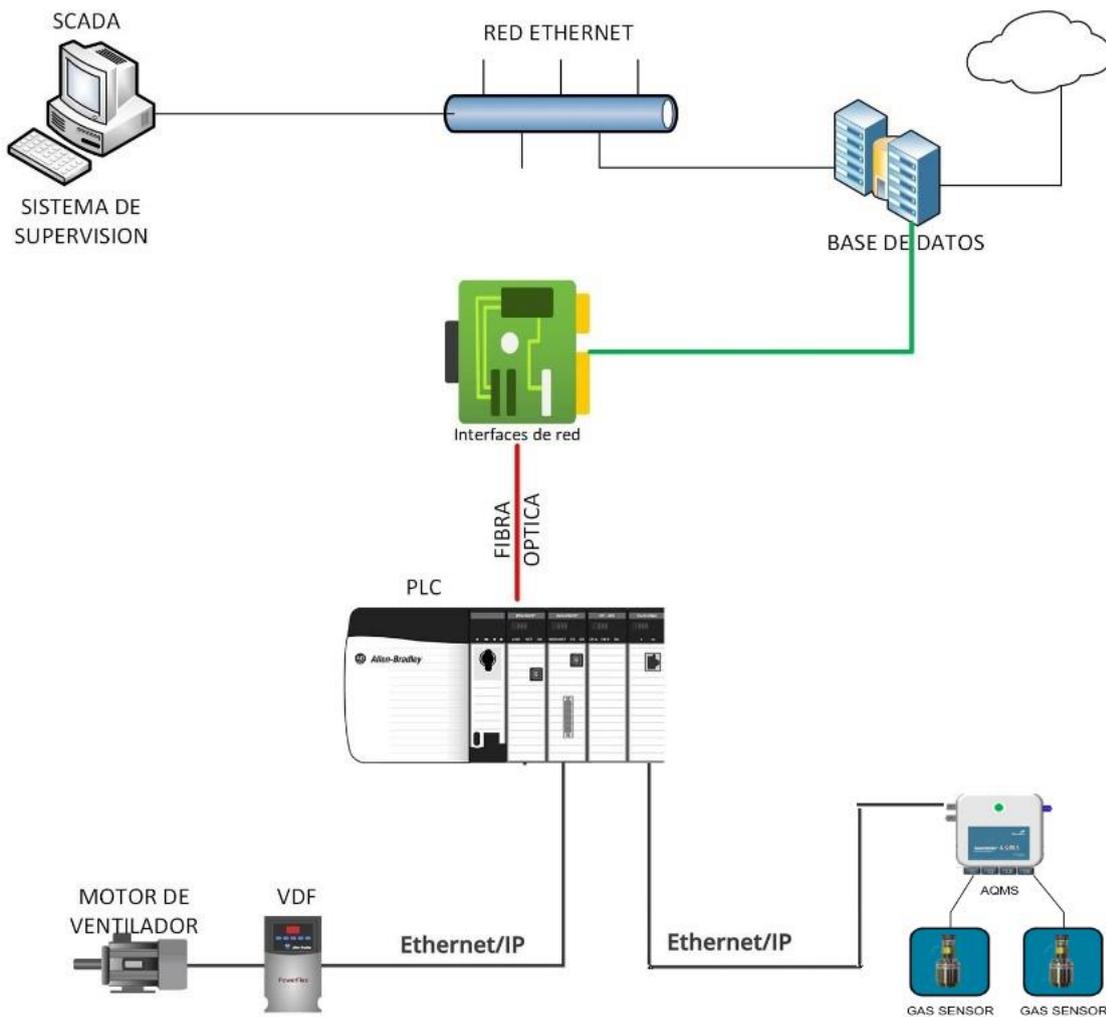


Figura 4. Arquitectura de red del proyecto

- **Variador de frecuencia:** Driver que se utilizar para el control de velocidad del motor de ventilador y se comunicara mediante el protocolo de comunicación Ethernet IP. A demás los variadores de frecuencia sirven para controlar de manera efectiva el arranque de motores (Álvarez 2000).
- **Programador lógico controlable:** Los Controladores Lógicos Programables (PLCs) en conjunto con sensores y actuadores equipados con acondicionamiento electrónico permitieron implementar sistemas de control más precisos y repetitivos (Martell et al. 2023). En el presente trabajo el PLC se comunica con el variador el cual funciona como actuador y a la vez se comunica con el transmisor de gas utilizando el mismo protocolo de comunicación Ethernet IP para obtener información y controlar el proceso.

- **Servidor de base de datos:** El servidor de base de datos adquiere y almacena información enviada por el PLC, como los estados de los equipos, alarmas, registros, valores de las señales en este caso de gas, entre otras. Los servidores de bases de datos administran los derechos de acceso de los usuarios, ya sea examinando los derechos de los usuarios en un sistema operativo o realizando un seguimiento de sus propias listas de usuarios (Pared 2004).
- **Sistema de supervisión:** La estación de operación o también llamado control mediante SCADA se conecta a la red ethernet general y comparte de forma bidireccional información con el servidor de base de datos que a la vez se comunica con el PLC, este sistema será utilizado por el personal de mantenimiento para controlar, monitorear y registrar señales o eventos que ocurran con el ventilador. El control de supervisión y adquisición de datos (SCADA) es una arquitectura de sistema de red y control para comunicaciones e intercambio de datos entre un supervisor, los controladores (PLC) y los dispositivos de campo en el taller (Coito *et al.* 2020).

#### 4.2.1.3 Filosofía de control

- **Objetivos del control:** Optimizar el sistema de ventilación en una operación minera para garantizar un ambiente de trabajo con calidad del aire adecuada, lo que permitirá llevar a cabo una variedad de tareas de manera segura y eficiente, a través de la implementación de un sistema de automatización y control del flujo de aire (Alessandrini, Domenichini, Branzi 2021).
- **Jerarquía del control:** Los niveles de automatización e integración del proyecto son: Nivel de campo (Variador PowerFlex y Transmisor de gas AQS, Nivel de control PLC Allend Bradley y Nivel de supervisión SCADA INTOUCH MACHINE planta.
- **Estrategias de control**  
El sistema de control del sistema de ventilación en operación minera, estará concebido para operar desde el SCADA, o bien desde los selectores del tablero eléctrico (Operación Local).

El modo de operación estará determinado por selectores en la pantalla del sistema SCADA Local o Remoto Manual/Automático.

Basado en los puntos descritos anteriormente existirán, los siguientes modos de control:

- a. **Modo Remoto/Manual:** Las órdenes de encendido, apagado y regulación manual del variador, así como la apertura de la válvula dámper, será realizada por el operador desde el sistema SCADA.
- b. **Modo Remoto/Automático:** Las órdenes de encendido, apagado y regulación de frecuencia del variador, así como la apertura de la válvula la válvula dámper, será realizada automáticamente según el proceso descrito por el diagrama de flujo en la figura 02, este estado podrá ser seleccionado desde el SCADA.
- c. **Modo Local:** Las órdenes de encendido y apagado de cada actuador, desde tablero local existente.
  - **Instrumentación, sensores y actuadores:** Como sensor se utiliza un transmisor de gas AQS y como actuadores se tendrá un variador de frecuencia y válvula dámper para control de flujo de aire.
  - **Seguridad y enclavamientos:** Considera las medidas de seguridad para proteger a los trabajadores, equipos y procesos en el entorno automatizado. El sistema de control dispondrá de los siguientes tipos de enclavamientos.
- d. **Enclavamiento por Software:** Corresponde a una señal digital incluida en la lógica programada del PLC, para enclavar el funcionamiento de los actuadores como variador de frecuencia y válvula dámper.
- e. **Enclavamiento Duro:** Corresponderá a una señal alambrada directamente, esta señal alambrada corresponderá a una serie formada por un contacto auxiliar de un relé de resumen de falla y la parada de emergencia existente en el tablero eléctrico.

Los enclavamientos se dividirán además en:

- f. **Enclavamientos de Seguridad:** Estos enclavamientos debido a su importancia en la protección del equipo y las personas operarias, estarán presentes en cualquier modo de operación, provocando la detención de los extractores.
  - Avisos de falla de variador

- Falla por comunicación
- No confirma señal de retorno de arranque de variador
- No confirma posición open/close válvula dámper.
- g. Enclavamientos de Proceso:** Son importantes para el control del proceso, sin implicar un daño a equipos o personas.
- En horario de trabajo o actividades aumenta velocidad de flujo de aire.

#### **4.2.1.4 Diagrama de flujo de funcionamiento**

La secuencia lógica automática del sistema de ventilación en una operación minera para garantizar un ambiente de trabajo con calidad del aire adecuada se describe en la Figura 5.

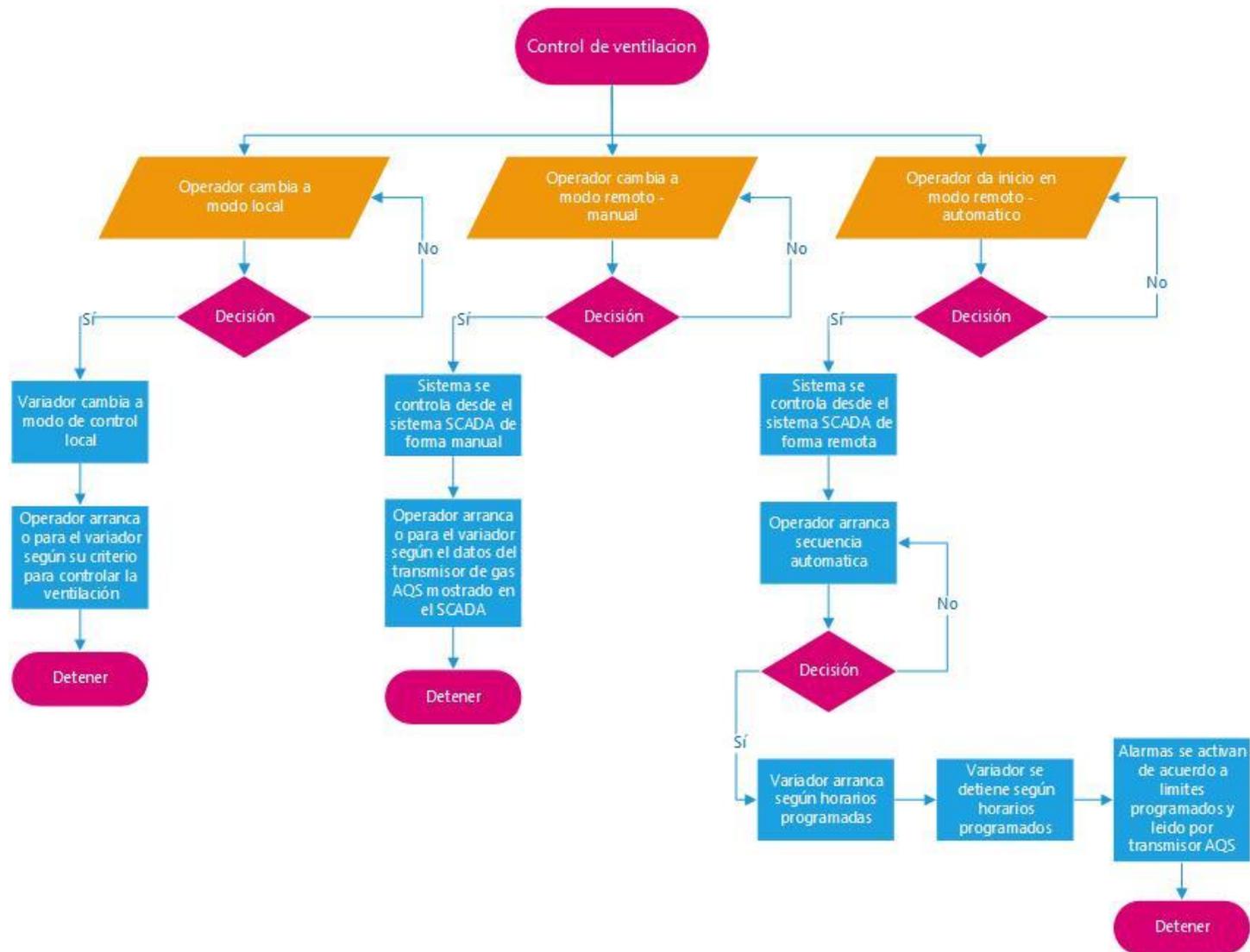


Figura 5. Diagrama de flujo del proceso

## 4.2.2 PROGRAMACIÓN DE PLC E INTEGRACIÓN DEL SCADA

### 4.2.2.1 Programación de Programador Lógico Controlable

- El PLC utilizado es de la gama Compact Logix de Allen Bradley de la serie 5380, el Software utilizado para la programación es el Studio 5000 V33.
- El lenguaje de programación utilizado para implementación del algoritmo es diagrama de bloques funcionales, se integraron bloques de motor, de sensores analógicos y de válvulas (dámper).
- Además, se diseñaron las rutinas para alarmas, lecturas analógicas y verificación de fallas de conexión.
- Como se puede observar en la Figura 6, el bloque del motor está representado en lenguaje de bloques funcionales, donde se define las entradas de memoria como los mandos (*Start* y *Stop*), los estados del motor (*Ready*, *Starting*, *Running*, *Stopping*, *Stoped* y *motor fault*), también se puede observar las I/O (comando de arranque y señal de confirmación).
- Se agregó el bloque del variador como se muestra en la Figura 7.
- La integración del variador es netamente por protocolo de comunicación Ethernet IP, el cual permite tener acceso a datos como la velocidad, la corriente que consume, la potencia, temperatura de los igbt, estados del variador y avisos de advertencias o fallas.
- Se agregó el bloque de la válvula dámper como se muestra en la Figura 8.
- En la imagen se puede observar las conexiones de los estados principales para el control de la válvula como la confirmación de abierto o cerrado de la válvula y así saber en qué estado se encuentra para detectar alguna falla. así mismo que el comando de que manda abrir o cerrar la válvula dámper.

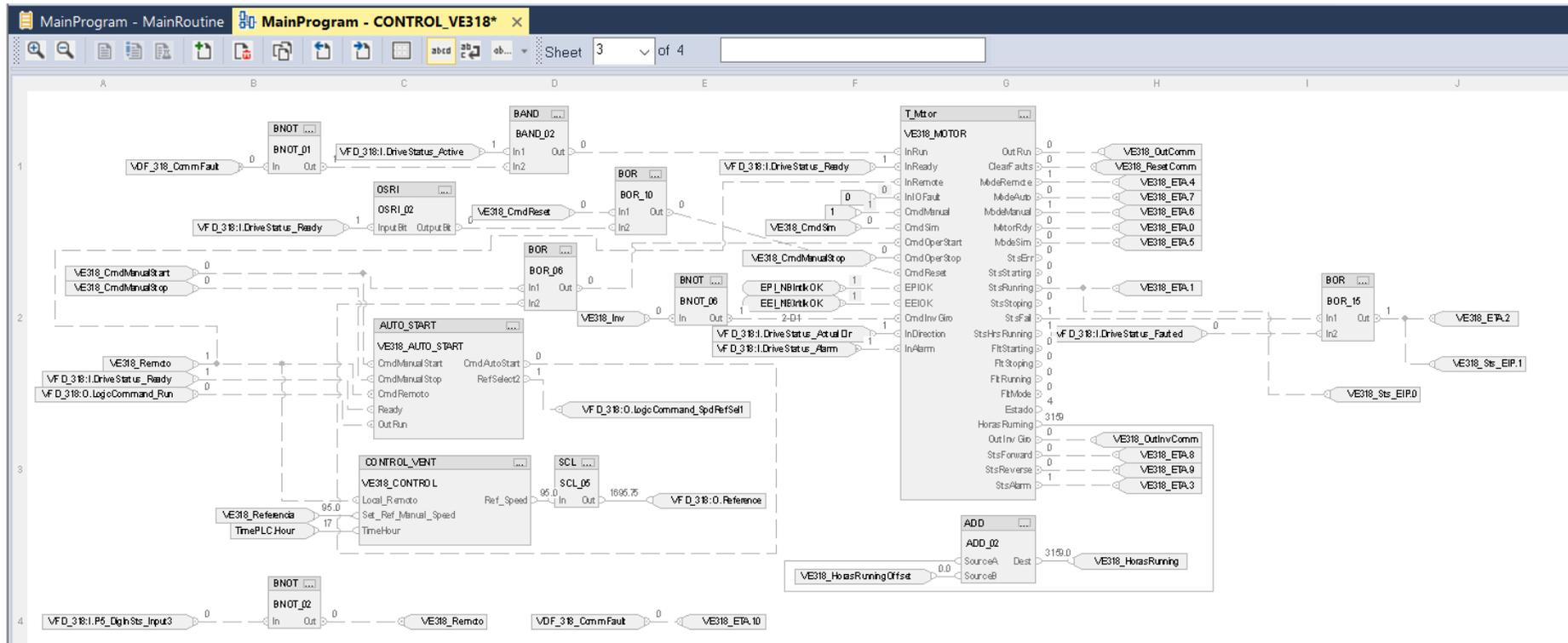


Figura 6. Vista del programa con lenguaje de bloques funcionales.

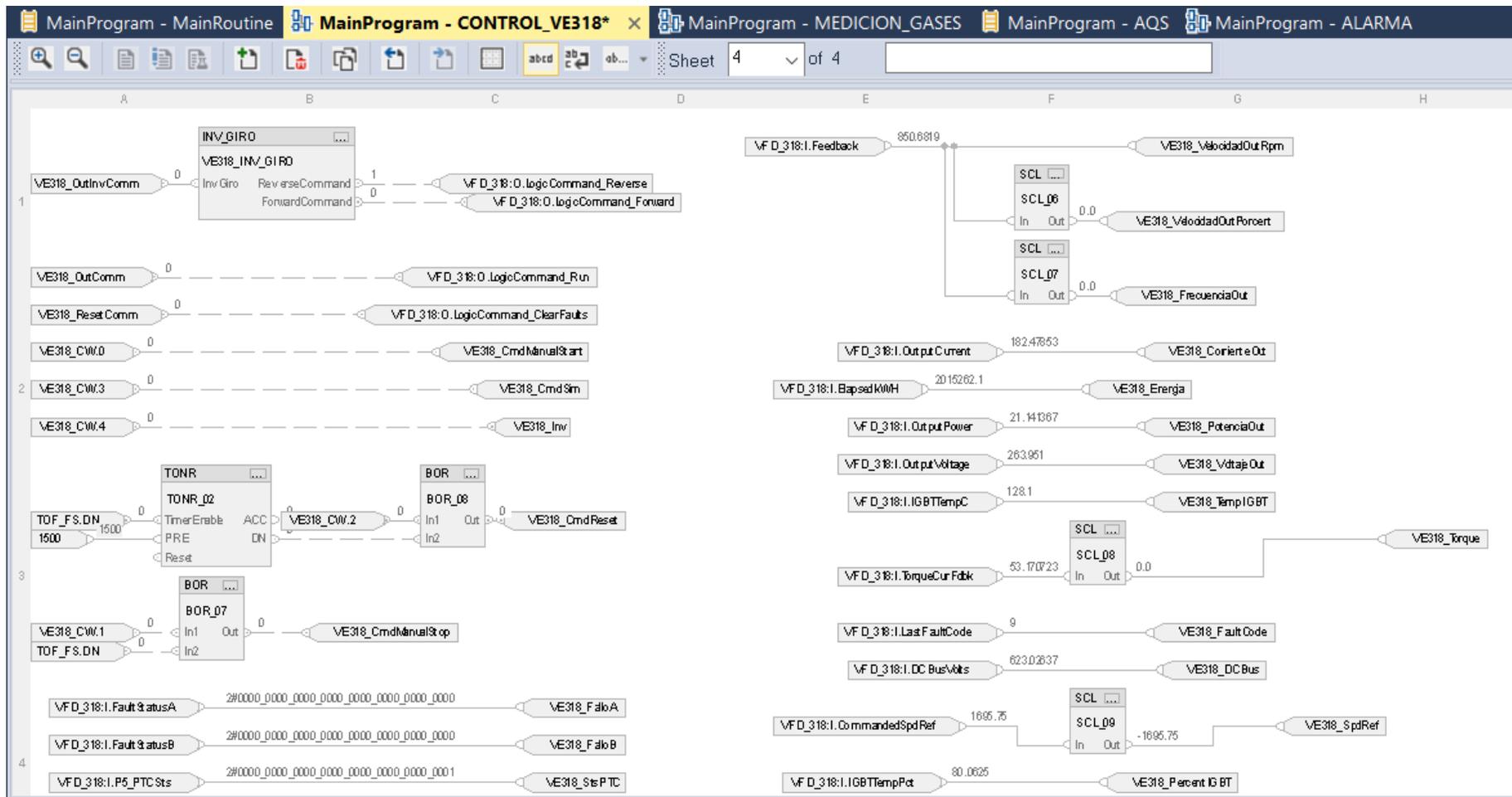


Figura 7. Bloque de control para variador Power Flex en Studio 5000.

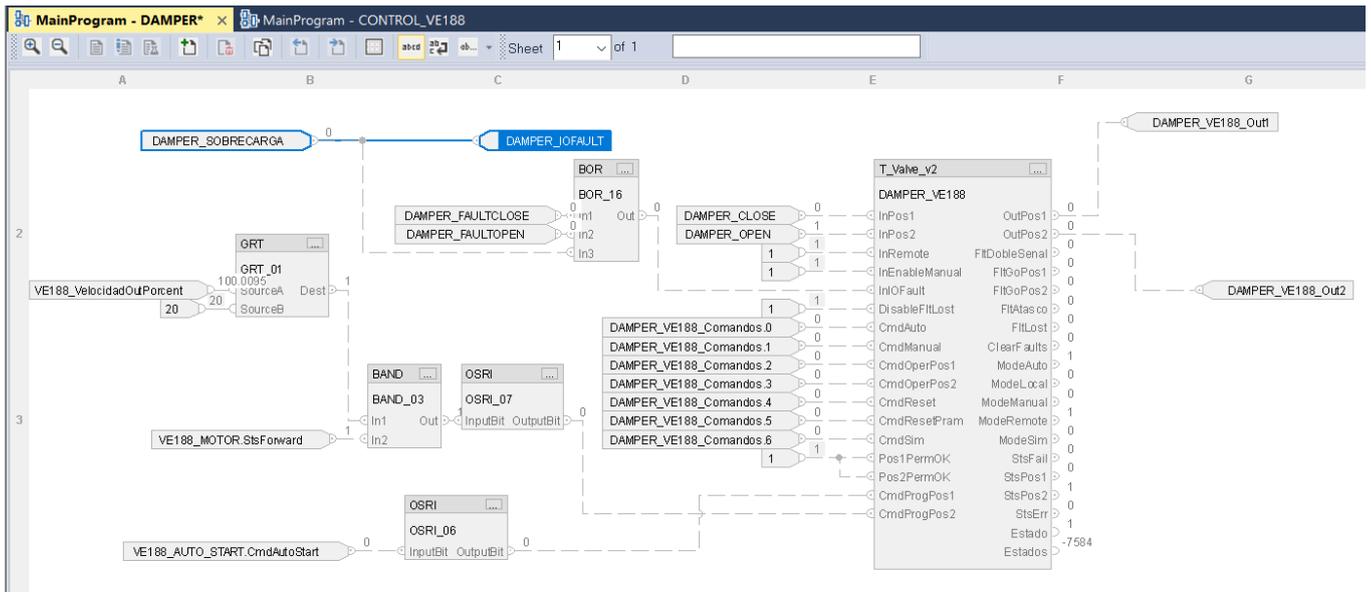


Figura 8. Bloque de control para válvula dâmpner de control en Studio 5000

- Se agregó el bloque analógico para temperatura sacada a partir del transmisor de gases mediante protocolo ethernet IP como se muestra en la

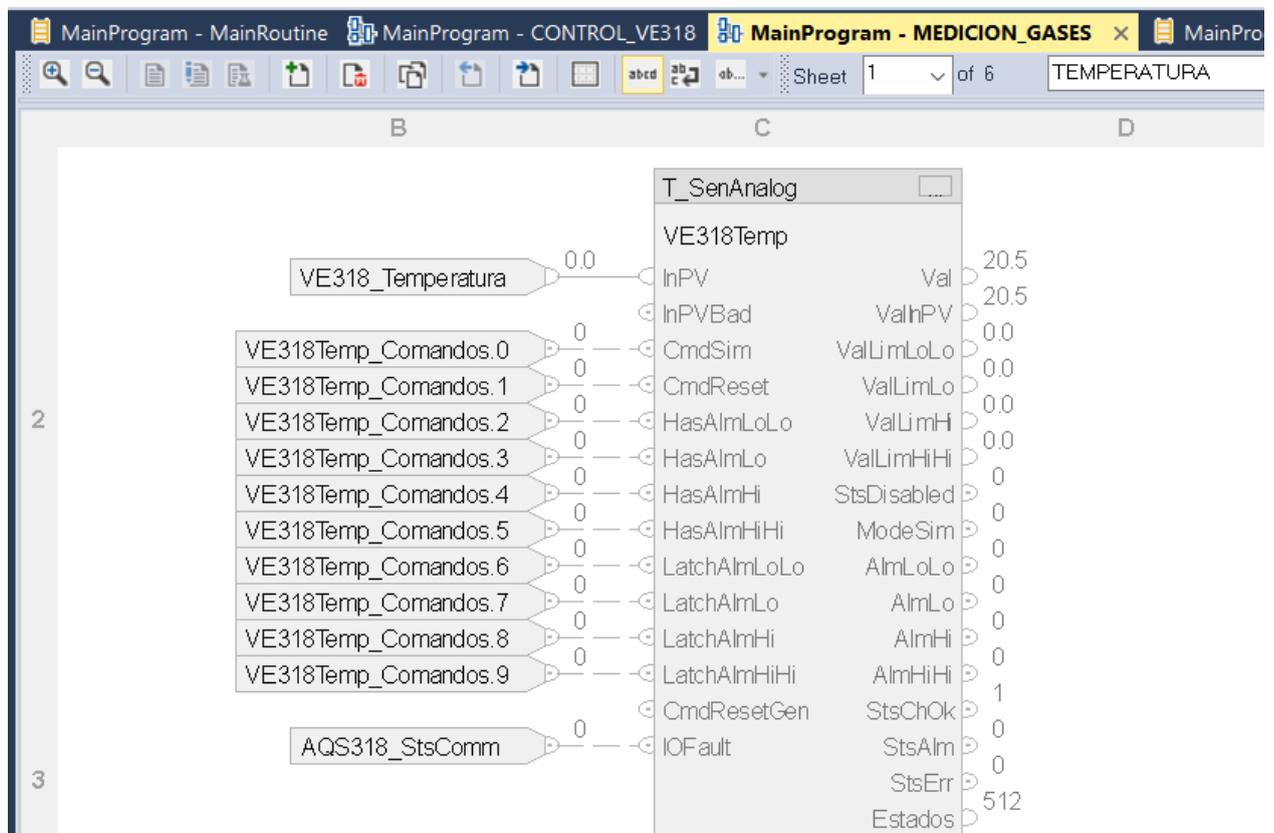


Figura 9. Bloque de control para variable analógica de temperatura en Studio 5000

- Se diseñó la rutina para comunicación con Estación de Gas mediante Ethernet/IP como se muestra en la Figura 10.

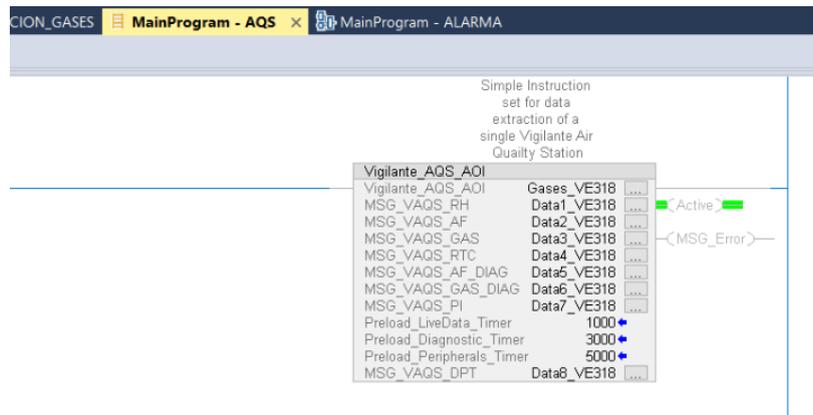


Figura 10. Rutina de lectura de datos para transmisor gas AQS en Studio 5000

- En la rutina creada se puede obtener la trama de datos desde el transmisor de gas AQS montado en campo mediante el protocolo de comunicación Ethernet IP, datos como: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), oxígeno (O<sub>2</sub>) y Humedad Relativa.

#### 4.2.2.2 Diseño y configuración de pantallas en SCADA

- En la Figura 11 se muestra la creación de pantalla de ubicación principal del variador en SCADA de *rockwell*.

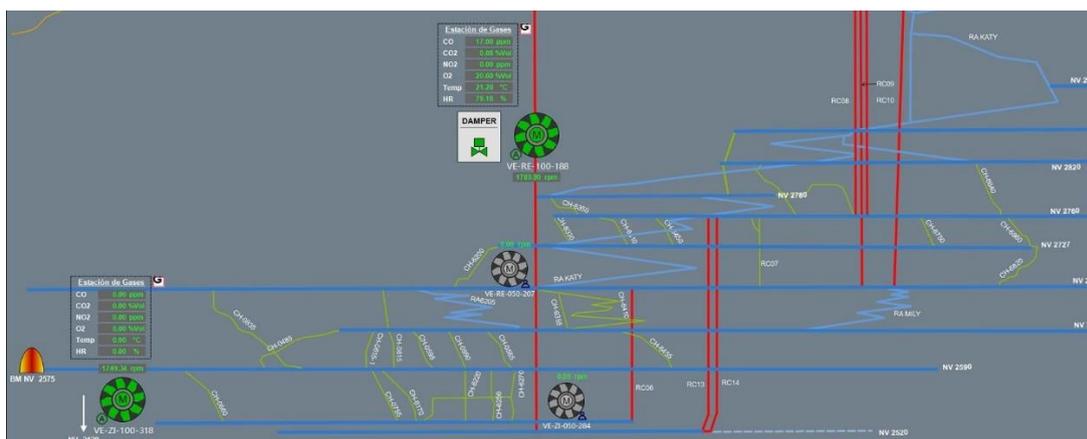


Figura 11. Scada de la integración de los ventiladores principales.

- En la Figura 12 se muestran los objetos del variador y motor del ventilador principal junto con la válvula dámper y los valores del transmisor de gas AQS, los cuales fueron integrados para el control ventilación de flujo de aire.

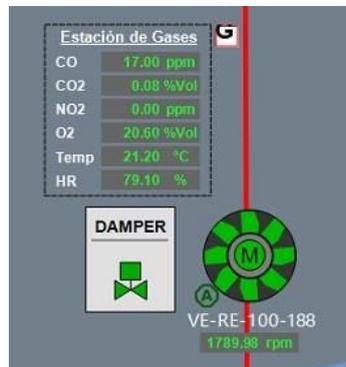


Figura 12. Objetos en scada de motor y control de gases.

- En la Figura 12 se puede observar en funcionamiento el variador y el motor del ventilador en conjunto representado por el color verde, de la misma forma la válvula dámper indica que está en funcionamiento abierta representado también por el color verde. Además, se puede observar la información adquirida por el transmisor de gas AQS como la cantidad de partes por millón de CO, el porcentaje en volumen de CO<sub>2</sub>, la cantidad de partes por millón de NO<sub>2</sub>, el porcentaje en volumen de O<sub>2</sub>, la temperatura en grados Celsius y el porcentaje de humedad relativa. Por último, se observa la velocidad en RPM del motor dato que es adquirido desde el variador.
- En la Figura 13 se muestra el Faceplate diseñado para el motor-variador integrado en el proyecto.

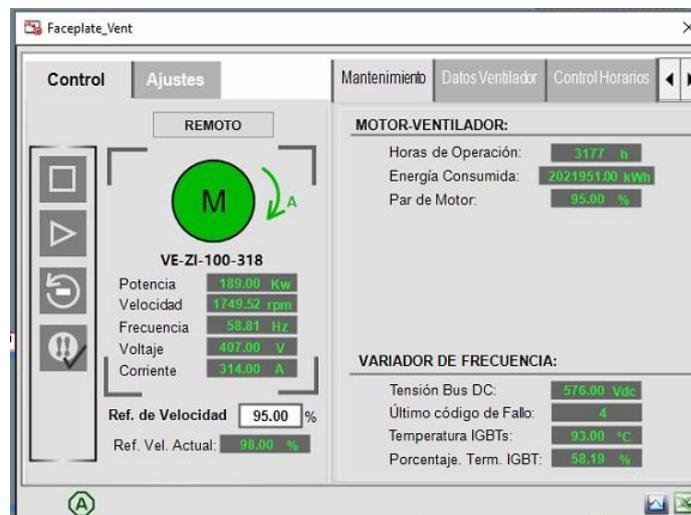


Figura 13. Faceplate para el control de motor-variador del ventilador principal.

- En la Figura 13 se puede observar que el Faceplate está dividido en dos sub pantallas verticales y a su vez se tiene pestañas en la cual contiene información de acuerdo al caso.
- En la sub pantalla izquierda, se tiene dos pestañas: control y ajustes; entre estas dos pestañas la que más resalta es la pestaña de control, ya que esta contiene los selectores para cambiar el estado de control remoto/local, *start/stop/reset/acknowledge* y a su vez la información de los estados del motor interpretados mediante colores, (*running* = verde, *stopped* = plomo y *fail*=rojo). Así mismo, también contiene información del variador como la potencia consumida, la velocidad del motor, la frecuencia de la red, voltaje de la red y corriente consumida y por último parámetros de control del variador como el Setpoint de velocidad.
- En la sub-pantalla de la derecha, se puede observar que en la pestaña mantenimiento se tiene datos de las horas de operación, la energía consumida y el par de motor, como también información de energía eléctrica del variador como la tensión en el Bus DC, la temperatura de los IGBT y el último código de fallo.
- En la figura N°11 se muestra la pestaña de registro de alarmas y eventos del Faceplate diseñado para el motor-variador integrado en el proyecto.

Fecha y hora	Tag	Descripcion	Estado
18/04/23 09:50:57	VE_RE_100_318.STSAlarm	Estado de Alarma motor	UNACK_RTN
17/04/23 16:53:30	VE_RE_100_318.STSAlarm	Estado de Alarma motor	UNACK_ALM
17/04/23 16:50:41	VE_RE_100_318.STSRu...	Estado de ventilador funcionando (1)/detenido...	UNACK_RTN
17/04/23 16:47:06	VE_RE_100_318.STSRu...	Estado de ventilador funcionando (1)/detenido...	UNACK_ALM
17/04/23 16:47:06	VE_RE_100_318.STSAlarm	Estado de Alarma motor	UNACK_RTN
17/04/23 16:47:03	VE_RE_100_318.STSAlarm	Estado de Alarma motor	UNACK_ALM
17/04/23 16:46:56	VE_RE_100_318.STSRu...	Estado de ventilador funcionando (1)/detenido...	UNACK_RTN
17/04/23 16:46:49	VE_RE_100_318.STSRu...	Estado de ventilador funcionando (1)/detenido...	UNACK_ALM
17/04/23 16:46:48	VE_RE_100_318.STSRu...	Estado de ventilador funcionando (1)/detenido...	UNACK_RTN
17/04/23 16:46:51	VE_RE_100_318.STSAlarm	Estado de Alarma motor	UNACK_RTN
17/04/23 16:46:51	VE_RE_100_318.STSRu...	Estado de ventilador funcionando (1)/detenido...	UNACK_ALM
17/04/23 16:46:48	VE_RE_100_318.STSAlarm	Estado de Alarma motor	UNACK_ALM

Figura 14. Pantalla de registro de alarmas y eventos en el Faceplate del motor.

## 4.2.3 MONTAJE DE SENSORES Y TABLEROS DE CONTROL EN CAMPO

### 4.2.3.1 Transmisor de gas AQS

El Transmisor de Gas AQS se instaló en un lugar estratégico dentro de la mina subterránea, donde pueda detectar y medir la concentración de gases relevantes para la seguridad y la calidad del aire. Se montó en una ubicación que garantice una toma de muestras representativa del aire circundante. El sensor se conectó al Programador Lógico Controlable (PLC) utilizando el protocolo de comunicación Ethernet IP mencionado en la sección. El cableado y la alimentación del transmisor se realizaron según las especificaciones del fabricante para garantizar un funcionamiento preciso y confiable. A continuación, se muestra una imagen que ilustra la instalación del Transmisor de Gas AQS en el campo:



Figura 15. Sensor AQS montado en campo.

### 4.2.3.2 Válvula Dámper

La Válvula Dámper se instaló en el sistema de ventilación para controlar el flujo de aire. Su ubicación se determinó de acuerdo con el diseño de la mina y las necesidades de ventilación. Se colocó en una posición que permita una regulación efectiva del flujo de aire según las señales del PLC. Se implementaron sistemas de enclavamiento y seguridad para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente según lo mencionado anteriormente. A continuación, se muestra una imagen que ilustra la instalación de la Válvula Dámper en el campo:



*Figura 16. Válvula dámper montado en campo.*

#### **4.2.3.3 Variador de frecuencia *PowerFlex***

El Variador de Frecuencia *PowerFlex 755* se instaló en el sistema de control de velocidad del motor del ventilador. Se montó en un gabinete adecuado y se conectó al motor del ventilador de acuerdo con las especificaciones del fabricante. La comunicación entre el variador y el PLC se estableció mediante el protocolo de comunicación Ethernet IP. Se programaron los parámetros del variador para garantizar un control preciso de la velocidad del motor y por lo tanto del flujo de aire. A continuación, se muestra una imagen que ilustra la instalación del Variador de Frecuencia *PowerFlex 755* en el campo:



*Figura 17.* Variador PowerFlex 755 montado en tablero de potencia en campo.

#### **4.2.3.4 Tablero de control**

El Tablero de Control se instaló en un lugar accesible para el personal de operación y mantenimiento. Este tablero contiene la parte de control como el PLC, fuente de alimentación y módulos I/O's. Se implementaron los enclavamientos por software y enclavamientos duros mencionados en la sección 4.2.1.3 para garantizar la seguridad del personal y la integridad del equipo. El tablero estará conectado en red al sistema SCADA para permitir el control y monitoreo eficiente del sistema de ventilación.



*Figura 18.* Sistema de control montado en tablero de control en campo.



*Figura 19.* PLC Compact Logix montado en tablero de control en campo.

#### **4.2.4 COMISIONAMIENTO Y PUESTA EN MARCHA**

##### **4.2.4.1 Pruebas de funcionamiento del sistema de control de ventilación.**

Antes de poner en marcha el sistema de control de ventilación, se llevaron a cabo pruebas exhaustivas para garantizar su funcionamiento óptimo. Estas pruebas incluyeron la verificación de la comunicación entre los dispositivos, la calibración y validación del Transmisor de Gas AQS, la regulación de la válvula dámper, y la comprobación de la respuesta del Variador de Frecuencia PowerFlex 755. Además, se realizaron pruebas de seguridad, como la activación de enclavamientos de seguridad, para asegurarse de que el sistema pudiera detenerse en caso de condiciones anómalas.

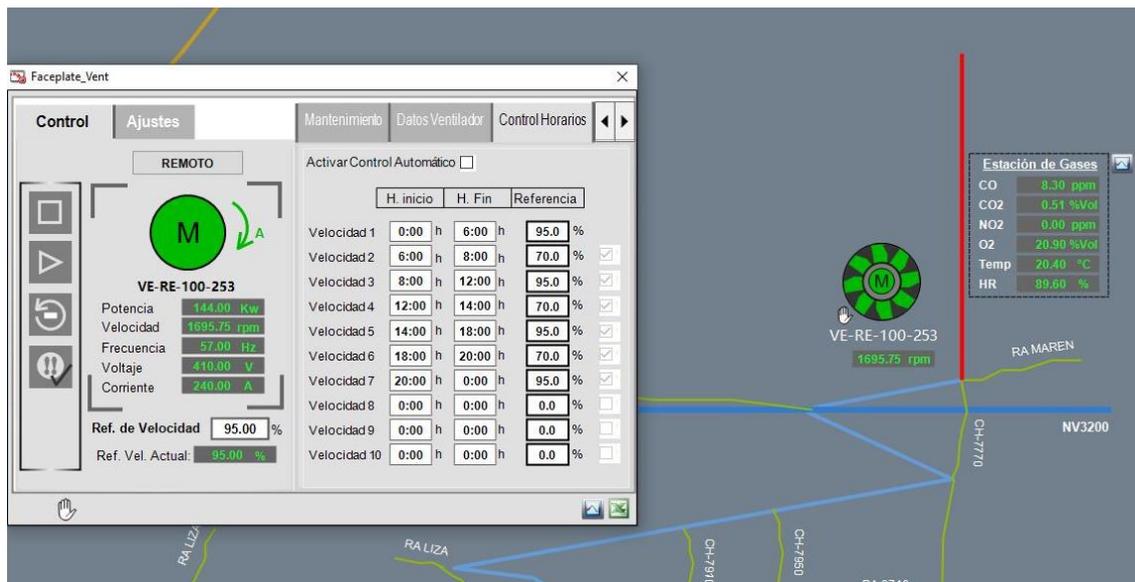


Figura 20. Pruebas de Scada para funcionamiento del sistema de ventilación.

#### 4.2.4.2 Puesta en marcha y capacitación a personal operario.

Una vez completadas las pruebas de funcionamiento con éxito, se procedió a la puesta en marcha del sistema de control de ventilación. Durante este proceso, se supervisó la transición de los modos de operación y se verificó que el sistema respondiera de manera adecuada a las instrucciones del personal de operación. Además, se proporcionó capacitación al personal operario para que pudieran utilizar el sistema de manera efectiva y segura. Se les instruyó sobre cómo cambiar entre modos de operación, cómo interpretar las alarmas y cómo responder a situaciones de emergencia.

El sistema de automatización y control del flujo de aire en la mina subterránea se diseñó para mejorar la seguridad y la eficiencia de las operaciones, garantizando un ambiente de trabajo con calidad del aire adecuada. El cumplimiento de las pruebas y la capacitación del personal fueron pasos esenciales para asegurar el éxito de la implementación de este proyecto.



*Figura 21. Cumplimiento de las pruebas y la capacitación del personal*

### **4.3. Objetivo 3: Determinar el consumo de energía de los equipos de ventilación al implementar un sistema de automatización en una minera subterránea.**

#### **4.3.1 Cálculo de consumo de energía diario**

Para determinar el consumo de energía con el sistema de automatización se realizaron pruebas de funcionamiento en horarios distintos, teniendo en cuenta que entre las 18:00 y 20:00 horas del turno día y las 06:00 y 08:00 del turno noche, el ventilador tiene que funcionar en su máxima capacidad, ya que en este horario se debe ventilar las labores en donde ha ocurrido la explotación del mineral, para así el siguiente turno pueda trabajar con óptimas condiciones de oxígeno (19.5%) según el reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería, en cual establece en el artículo 246

A continuación, se muestra un cuadro con los datos obtenidos.

**Tabla 3. Datos del proceso**

		VE 253			
HORA		HZ	RPM	AMP	kW
0:00:00		45	1339	183	114
1:00:00		45	1339	183	114
2:00:00		45	1339	183	114
3:00:00		45	1339	183	114
4:00:00		45	1339	183	114
5:00:00		45	1339	183	114
HORAS DE EXPLOTACIÓN DE MINERAL	<b>6:00:00</b>	<b>60</b>	<b>1785</b>	<b>244</b>	<b>152</b>
	<b>7:00:00</b>	<b>60</b>	<b>1785</b>	<b>244</b>	<b>152</b>
	8:00:00	48	1428	195	122
	9:00:00	48	1428	195	122
	10:00:00	48	1428	195	122
	11:00:00	48	1428	195	122
	12:00:00	48	1428	195	122
	13:00:00	48	1428	195	122
	14:00:00	48	1428	195	122
	15:00:00	48	1428	195	122
HORAS DE EXPLOTACIÓN DE MINERAL	16:00:00	48	1428	195	122
	17:00:00	48	1428	195	122
	<b>18:00:00</b>	<b>60</b>	<b>1785</b>	<b>244</b>	<b>152</b>
	<b>19:00:00</b>	<b>60</b>	<b>1785</b>	<b>244</b>	<b>152</b>
	20:00:00	45	1339	183	114
	21:00:00	45	1339	183	114
	22:00:00	45	1339	183	114
	23:00:00	45	1339	183	114
	TOTAL, DE kW CONSUMIDO				124

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro se observa que sumando todos los kW de potencia en las distintas horas de trabajo obtenemos un promedio de consumo en potencia del ventilador principal de 124 kW en un día de funcionamiento.

#### 4.3.2. Sistema de automatización y el caudal de aire requerido



Figura 22. Diagrama de funcionamiento desde el scada.

**Tabla 4.** Datos del consumo de energía con sistema de automatización.

<b>CONSUMO DE ENERGÍA CON SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN</b>					Precio del tipo de cambio del dólar.		S/3,702
					US\$/kWh:		0,095
<b>DATOS DEL VENTILADOR</b>					Días del Mes		30
<b>CONDIGO DE FAN</b>	<b>MARCA DE FAN</b>	<b>CAUDAL NOMINAL</b>	<b>POTENCIA EN kW</b>	<b>INDICE (kW/CFM)</b>	<b>MODELO</b>	<b>MOTOR</b>	<b>TIPO</b>
VE – 253	REMOVEX	100.000	200	0,14	LMT-400.4.10	WEG IE3	AXIAL
	<b>MES</b>	<b>TIEMPO DE OPERACIÓN (HORAS)</b>	<b>ENERGIA (kW) DIARIO</b>	<b>ENERGIA Y TIEMPO OP. (kWh)</b>	<b>COSTO DIA (US\$)</b>	<b>COSTO MENSUAL (US\$)</b>	
	AGOSTO	720	140	100.800	317,52	\$9.525,600	
	SETIEMBRE	710	130	92.300	290,75	\$8.722,350	
	OCTUBRE	720	140	100.800	317,52	\$9.525,600	
	NOVIEMBRE		0	0	0,00	\$0,000	
	DICIEMBRE		0	0	0,00	\$0,000	

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 5.** *Datos comparativos sin automatización y con automatización.*

	<b>CONSUMO DE ENERGIA SISTEMA AUTOMATIZACIÓN SIN DE</b>	<b>CONSUMO DE ENERGIA SISTEMA AUTOMATIZACIÓN CON DE</b>	<b>DIFERENCIA ENTRE LOS MESES DE MUESTRA</b>	<b>% DE AHORRO</b>
MES 1	\$13.608,000	\$9.525,600	\$4.082,400	30%
MES 2	\$12.748,050	\$8.722,350	\$4.025,700	32%
MES 3	\$12.388,950	\$9.525,600	\$2.863,350	23%

Fuente: Elaboración propia

#### **4.4 Objetivo 4: Elaborar un análisis económico al implementar un sistema de automatización de los equipos de ventilación en una minera subterránea.**

Teniendo en cuenta el presupuesto para implementar el sistema de automatización para mejorar el control de los ventiladores en interior mina, se considera y se realiza un análisis de lo requerido para la puesta en marcha del sistema SCADA por el principal proveedor de la empresa minera y el cual se detalla a continuación. Cabe recalcar que se hará referencia a los nuevos equipos adquiridos.

**Tabla 6:** Costo del tablero de respaldo de energía.

CANTIDAD	DESCRIPCION	N° DE PARTE	MARCA	P. UNITARIO	P. TOTAL
1	TABLERO DE RESPALDO DE ENERGIA	TAB-UPS-001	EMOTION	\$ 4,856.94	\$ 4,856.94
	<b><u>CONTIENE:</u></b>				
	Gabinete tipo mural 800 (alto)x1000 (ancho)x400 (profundidad), IP66, color anaranjado RAL 2004.				
	Incluye: techo inclinado, luminaria led interior, interruptor de puerta, pedestal 900x530x560 (An*Al*Pr) y manija de operación.				
	- UPS 1000VA, 120Vac. (Marca: Allen Bradley, modelo: 1609D1000N)				
	Incluye: 3 baterías de 12Vdc internas y 6 baterías externas. Todos los arreglos de baterías enseriados a 36Vdc (Batería: 1609SBAT)				
	Incluye: Hosting externo para baterías (1609EXBAT)				
	Circuit Breaker principal (Marca: ABB, modelo: 171SDA066799R1)				
	Incluye: manija de operación				
	Transformador de voltaje 1000VA, Primario 240/480 Vac, secundario 110V 50Hz /120V 60Hz (modelo: 1497KBASX0N)				
				P. TOTAL	\$ 4,856.94

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 7: Costo del tablero de control.**

<b>CANTIDAD</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>SERIE</b>	<b>MARCA</b>	<b>P. UNITARIO</b>	<b>P. TOTAL</b>
1	TABLERO DE CONTROL	TAB-CTR-001	EMOTION	\$ 11,987.52	\$ 11,987.52
	<b><u>CONTIENE:</u></b>				
	Gabinete tipo mural 700 (alto)x1000 (ancho)x300 (profundidad), IP66, color anaranjado RAL 2004.				
	Incluye: techo inclinado, luminaria led interior, interruptor de puerta, pedestal y cierre de puerta.				
	Incluye: techo inclinado, luminaria led interior, interruptor de puerta, pedestal y cierre de puerta.				
	Incluye: Termostato, resistencia calefactora y tomacorriente				
	HMI Panel View Estándar de 7" (Marca: Allen Bradley, modelo: 2711P-T7C22D8S)				
	Controlador CompactLogix L33R (Marca: Allen Bradley, modelo: 1769-L33ER)				
	Incluye: Módulos de 16 Digital Input; 8 Digital Output, 4 Analogic Input y 6 entradas RTD				
	Switch Stratix 2000, 8 puertos TCP/IP (Marca: Allen Bradley, modelo: 1783-US8T)				
	Power Supply para Compact Logix (Marca: Allen Bradley, modelo: 1769-PB4)				
Power Supply, Entrada: 110/220 Vac, Salida: 24Vdc, 5A (Marca: Allen Bradley, modelo: 1606XLE120E)					
<b>COSTO DEL TABLERO DE CONTROL</b>				<b>P. TOTAL</b>	<b>\$ 11,987.52</b>

Fuente: Elaboración propia.

Para el desarrollo de la implantación del sistema de automatización para el ventilador principal se tiene una inversión de \$ 50 359,23 y este costo será asumido por la empresa considerando que se encuentra dentro de presupuesto previsto por el área responsable. Luego se analizó los costos generados por el consumo de energía de los 7 meses últimos antes de la implementación.

**Tabla 8:** *Análisis de consumo de energía durante de 7 meses.*

MES	TIEMPO DE OPERACIÓN (HORAS)	ENERGIA (kW) DIARIO	ENERGIA Y TIEMPO OP. (kWh)	COSTO DIA (US\$)	COSTO MENSUAL (US\$)
ENERO	720	200	144.000	453,60	\$13.608,000
FEBRERO	710	190	134.900	424,94	\$12.748,050
MARZO	700	190	133.000	418,95	\$12.568,500
ABRIL	698	190	132.620	417,75	\$12.532,590
MAYO	720	200	144.000	453,60	\$13.608,000
JUNIO	720	200	144.000	453,60	\$13.608,000
JULIO	710	190	134.900	424,94	\$12.748,050
<b>TOTAL, DE ENERGIA CONSUMIDA</b>			967.420	<b>TOTAL, DE COSTO POR LA ENERGIA CONSUMIDA</b>	\$91.421,190

Fuente: Elaboración propia.

El consumo de energía total de los 7 últimos meses antes de implementar el sistema de automatización fue 967,420 kWh y esto tiene un costo total de \$91,421.190 considerando el costo de la inversión para implementar el sistema de automatización un total de \$50,359.23 se tiene un beneficio económico de \$41,061.96, teniendo en cuenta otros factores como tiempos muertos de horas hombre para el encendido y apagado de los ventiladores. Luego calcularemos el costo beneficio.

Análisis costo beneficio se aplicó la siguiente formula:

El valor del costo-beneficio se obtiene al dividir el Valor Actual de los Ingresos Totales Netos (VAN) o beneficios netos entre el Valor Actual de los Costos de inversión (VAC) o costos totales (Rodrigues 2023).

La fórmula quedaría de la siguiente manera:

$$B/C = VAN/VAC \quad ( 10 )$$

$$B/C = \frac{\text{total de ahorro por propuesta}}{\text{costo total de la propuesta}}$$

Para calcular el costo beneficio, se tomó en cuenta la tasa interna de retorno fijada por la empresa, que al considerar como primer ventilador implementado con el sistema de automatización fue de 5% anual.

Como ingresos se han tomado los 4 primeros meses de funcionamiento con el sistema automatizado, y los 8 meses restantes se ha considerado a manera de proyección.

**Tabla 9:** *Análisis costo beneficio del sistema de automatización.*

Evaluación costo beneficio	
B/C = 1	Indiferente
B/C > 1	Aceptado
B/C < 1	Rechazado

Meses	1 (Inversión)	2 (Ingreso)	3 (Ingreso)	4 (Ingreso)	5 (Ingreso)
Flujo de caja neto	50359.23	4558.25	4961.68	5363.82	6051.78

Inversor	Tasa interna de retorno	B/C	Beneficios	Costos
Empresa	5%	S/ 1.10	S/ 55,361.59	50359.23

Fuente: Elaboración propia.

El valor obtenido de B/C mayor a 1: quiere decir que los ingresos son superiores a los costos, por lo que el proyecto de tesis es rentable.

## V. DISCUSIÓN

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, se realizó la comparación identificando similitudes y diferencias con los artículos de investigación que tenemos en el marco teórico para así llegar a las siguientes discusiones:

En esta investigación se planteó el primer objetivo específico el determinar el consumo de energía de los equipos de ventilación de una minera subterránea. En la empresa minera subterránea se realizó un estudio de los equipos de ventilación principales enfocados en el consumo de energía eléctrica y su respectivo costo. (Nel *et al.* 2019b), en su estudio consideró realizar una auditoría energética para obtener el consumo de los equipos de ventilación de una minería subterránea; en ello explica un proceso estructurado, mediante el cual intervienen profesionales externos para hacer la recolección de datos y verificación de los mismos. Existen algunas diferencias en cuanto al proceso empleado en nuestra investigación, si bien se puede llegar a obtener el mismo resultado, pero en el caso de una auditoría energética depende de la veracidad del personal encargado de brindar la información, en cambio en este proceso es un análisis detallado de las condiciones presentes en la mina, seguidamente se hizo un registro de consumo continuo durante meses previos a la implementación del sistema propuesto.

El segundo objetivo específico, la implementación de un sistema de automatización para los equipos de ventilación principal de una minera subterránea. Para ello se hace una comparación con la investigación de (Aranda 2020), quien buscó controlar los gases presentes en interiores de la minera Raura S.A, optimizando el funcionamiento de los equipos de ventilación, para ello implementó un sistema SCADA dentro de las instalaciones, teniendo como resultados un aumento significativo en cuanto a la eficiencia, disminución de costos de energía. Considerando esto, en la presente investigación se observan resultados favorables en cuanto a la eficiencia, disminución de horas hombre para el encendido y apagado de los ventiladores principales y el factor más importante es el ahorro en el consumo de energía, implementando un sistema de automatización en el cual se incluye un SCADA para el controlar y monitorear en tiempo real, se tuvo que tener en cuenta las condiciones en

interior mina para poder realizar una buena programación en el PLC y en software de SCADA, todo esto coordinado con el área de ventilación quien tiene un análisis a detalle del caudal de aire requerido en las labores de explotación, el sistema de automatización servirá para proyectos futuros de la empresa minera subterránea. Existe una similitud en dos de los resultados obtenidos, el primero es optimizar el funcionamiento de los ventiladores y reducir el consumo de energía, además de controlar los gases en interior mina en la empresa minera Raura. Los resultados también tienen similitud con los obtenidos por (Zhou *et al.* 2019), porque analizaron ejemplos de implementación de sistemas automatizados para el control de los equipos de ventilación minera en Rusia, logrando reducir el consumo de energía y la automatización de los equipos.

En el tercer objetivo se planteó determinar el consumo de energía de los equipos de ventilación al implementar un sistema de automatización, lo cual difieren con los obtenidos por (Wang *et al.* 2019), en cuanto al considerar el ahorro de consumo de energía, ya que solo buscó tener un buen control del funcionamiento del ventilador principal a través de un sistema de conmutación que cierra y apertura las compuertas de los ventiladores siguiendo la teoría de la red de flujo de fluidos, esta diferencia es por la razón de que solo utilizan dos ventiladores en su unidad minera mientras que en la presente investigación se proyecta a automatizar todos los ventiladores principales. Con esto se evidencia la clara organización y la planificación que tiene la minera subterránea para poder utilizar la tecnología de la automatización y así mantener el caudal de aire requerido en las labores sin dejar de lado el ahorro en el consumo de energía. Por otro lado, los resultados difieren a los obtenidos (Liu *et al.* 2020), quienes realizaron una investigación al diseño de un sistema de control de frecuencia inteligente de ventilación basado en la red neuronal, encontraron la relación entre la frecuencia de funcionamiento del ventilador y las distintas concentraciones de contaminantes y por lo consecuente se observó que el sistema de ventilación reduce el consumo de electricidad en un 38% mientras que con el sistema de automatización se llega a un 40% de ahorro de consumo de energía, cabe recalcar que no explica las diferentes condiciones, la cantidad de equipos y demás variables que se toman en cuenta para llegar a este resultado.

como cuarto objetivo específico se planteó elaborar un análisis económico al implementar un sistema de automatización de los equipos de ventilación en una minera subterránea. (Liu *et al.* 2020), en su investigación hacen empleo de un sistema automatizado mediante control de frecuencia inteligente, logrando reducir el consumo de energía en un 35%; las similitudes encontradas en, los equipos usados durante la implementación, así como el resultado obtenido correspondiente al ahorro, que para esta investigación es de 40%. La diferencia que podemos encontrar es que en el sistema implementado se tiene la capacidad de controlar el accionar de los circuitos de manera remota. (Nel *et al.* 2019b), en su estudio muestra que usando equipos capaces de variar la velocidad de media tensión como parte de las aplicaciones de ventilación bajo demanda se tiene un ahorro anual de 179,421 MWh, nuestra investigación tiene resultados un poco más alentadores en función a los objetivos tanto económicos y tecnológicos ya que tenemos un ahorro mayor al 40% y un sistema implementado controlable de manera eficiente.

Finalmente, el objetivo general fue Evaluar el impacto de la implementación de un sistema de automatización en el consumo de energía de los equipos de ventilación de una minera subterránea. (Zhou *et al.* 2019), en su investigación analiza dos sistemas más conocidos para desarrollar sistemas de control de ventilación automatizados (AVCS y VOD), tiene como impacto la reducción de consumo de consumo de energía gracias a la distribución óptima del aire y la regulación de velocidad de los equipos de ventilación; la presente investigación ha logrado los mismos resultados de manera demostrable. (Rodríguez, Franco, Rosero 2022), en su investigación presenta un modelo de espacio de estado y diseña un controlador cuadrático lineal con acción integral y un estimador de estado, donde a manera de simulación logra una mejor eficiencia de los equipos por la correcta distribución del aire dentro de los túneles de la mina, además de la reducción de costos por la implementación realizada, las similitudes en cuanto a simulación varían por la diferencia que se tienen en los equipos utilizados.

## VI. CONCLUSIONES

1. Después de realizar una automatización de los equipos de ventilación de una minería subterránea orientada hacia la reducción del consumo de energía, se tiene un impacto positivo desde el ámbito económico y tecnológico, ya que se logra reducir costos de una manera considerable y una implementación tecnológica eficiente
2. Se determinó que el consumo de energía de los equipos de ventilación de la minera subterránea los últimos 7 meses previos a la implementación, teniendo aproximadamente 967.420kWh, haciendo una comparativa con investigaciones desarrolladas es conveniente evaluar el contexto y sus condicionantes, además realizando un seguimiento de manera continua usando los equipos de medición confiables, permiten obtener resultados más fidedignos y confiables
3. Al implementar un sistema de automatización para los equipos de ventilación de la minera subterránea, se desarrolló un proyecto que se ajusta a la necesidad y la magnitud del proceso, logrando controlar los equipos de ventilación desde la superficie gracias al avance de la tecnología, haciendo el uso de los PLC y las redes de comunicación y los distintos softwares de interfaz hombre maquina SCADA.
4. Después de la implementación del sistema de automatización se tuvo un consumo de energía de 293.900kWh, que representan una reducción de aproximadamente 40% en el primer trimestre de funcionamiento.
5. Después de haber hecho el análisis económico al implementar un sistema de automatización de los equipos de ventilación en una minera subterránea se concluye que se tienen ganancias económicas significativas para los intereses de la empresa, se estima el tiempo de recuperación de inversión de un año después de haber hecho una inversión de aproximadamente \$ 50 000.

## **VII. RECOMENDACIONES**

Se recomienda potenciar la comunicación por la red de fibra óptica para no perder la comunicación con el SCADA y estar monitoreando en cada momento el funcionamiento de los ventiladores.

Para integrar los siguientes ventiladores principales se recomienda, que se tenga en cuenta la marca de los variadores de frecuencia para que el gabinete de control tenga el PLC de la misma marca para no dificultar la comunicación entre el variador y el PLC, así como también en los costos de estos equipos.

Se recomienda hacer una evaluación real de las condiciones existentes donde se va a desarrollar el estudio, esto permitirá tener un enfoque más claro de la problemática que se está investigando.

Tener en cuenta las normas locales, nacionales e internacionales establecidas por los organismos correspondientes según sea el caso (en Perú considerar el “reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería), esto permitirá desarrollar una investigación de manera más responsable.

A partir del trabajo desarrollado, se recomienda hacer el uso de IA (inteligencia artificial), para la detección de gases en interior mina y desarrollar proyectos futuros y mejorar los resultados.

## VIII. BIBLIOGRAFÍA

ACUÑA, Jorge, 1990. AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL DEFINICIÓN Y CONCEPTOS. . Vol. 10, pp. 27-30.

ALESSANDRINI, Adriano, DOMENICHINI, Lorenzo y BRANZI, Valentina, 2021. Automation functions, philosophies, and levels. En : *The Role of Infrastructure for a Safe Transition to Automated Driving*, pp. 7-47. Elsevier. ISBN 978-0-12-822901-9. DOI 10.1016/B978-0-12-822901-9.00006-3.

ÁLVAREZ, Manuel, 2000. *Convertidores de frecuencia, controladores de motores y SSR* [en línea]. Marcombo. ISBN 978-84-267-1268-4. Recuperado a partir de : [https://www.google.com.pe/books/edition/Convertidores\\_de\\_frecuencia\\_controladore/iWP2zQuTOI8C?hl=en&gbpv=0](https://www.google.com.pe/books/edition/Convertidores_de_frecuencia_controladore/iWP2zQuTOI8C?hl=en&gbpv=0)

ARANDA, Rómulo, 2020. *Relación de la automatización del sistema de ventilación para el control de gases presentes en interior mina con la optimización de la distribución de energía eléctrica de la Compañía Minera Raura S. A., 2019* [en línea]. Aplicada . Huancayo : Universidad continental. Recuperado a partir de : <https://hdl.handle.net/20.500.12394/8168>

CARDONA, Santiago, ESCOBAR, Diego A. y MONCADA, Carlos A., 2020. Índice de ahorro de tiempo medio de viaje cómo variable complementaria en la metodología Contribución por Valorización para la financiación de infraestructura vial. *Información tecnológica*. Vol. 31, n.º 4, pp. 17-26. DOI 10.4067/S0718-07642020000400017.

CARRILLO, Julio Alberto y ROJAS, Jairo Alberto, 2013. El variador de velocidad como método de arranque ideal para motores eléctricos de inducción. *Ingeniería Investigación y Desarrollo*. Vol. 13, n.º 1, p. 34. DOI 10.19053/1900771X.3414.

DE SOUZA, Euler, 2015. Improving the energy efficiency of mine fan assemblages. *Applied Thermal Engineering*. Vol. 90, pp. 1092-1097. DOI 10.1016/j.applthermaleng.2015.04.048.

ESEN, Ömer y BAYRAK, Metin, 2017. Does more energy consumption support economic growth in net energy-importing countries? *Journal of Economics, Finance and Administrative Science*. Vol. 22, n.º 42, pp. 75-98. DOI 10.1108/JEFAS-01-2017-0015.

GARCÍA, Juan, 2023. ¿Qué es la Potencia Trifásica? | Cálculo y aplicaciones. [en línea]. 3 octubre 2023. Recuperado a partir de : <https://potenciacero.com/potencia-electrica/trifasica> [accedido 2 diciembre 2023].

GARCÍA, Macías, 2023. Energía eléctrica: conceptos y principios básicos. . p. 7.

GUERRERO, Ramón, 2023. *Montaje y mantenimiento de transformadores. ELEE0109* [en línea]. IC Editorial. ISBN 978-84-11-03723-5. Recuperado a partir de : [https://www.google.com.pe/books/edition/Montaje\\_y\\_mantenimiento\\_de\\_transformador/vKHIEAAAQBAJ?hl=en&gbpv=0](https://www.google.com.pe/books/edition/Montaje_y_mantenimiento_de_transformador/vKHIEAAAQBAJ?hl=en&gbpv=0)

HANBERRY, Brice B., 2022. Imposing consistent global definitions of urban populations with gridded population density models: Irreconcilable differences at the national scale. *Landscape and Urban Planning*. Vol. 226, p. 104493. DOI 10.1016/j.landurbplan.2022.104493.

JHA, Ankit y TUKKARAJA, Purushotham, 2020. Monitoring and assessment of underground climatic conditions using sensors and GIS tools. *International Journal of Mining Science and Technology*. Vol. 30, n.º 4, pp. 495-499. DOI 10.1016/j.ijmst.2020.05.010.

KUMAR, Manoj, MAITY, Tanmoy y KIRAR, Mukesh Kumar, 2022. Energy Savings Through VOD (Ventilation-on-Demand) Analysis in Indian Underground Coal Mine. *IEEE Access*. Vol. 10, pp. 93525-93533. DOI 10.1109/ACCESS.2022.3203710.

LA CUESTA, Anghel, 2020. LA POBLACIÓN EN RIESGO DE POBREZA O EXCLUSIÓN SOCIAL EN ESPAÑA, SEGÚN LA DEFINICIÓN DEL CONSEJO EUROPEO. [en línea]. Recuperado a partir de : <https://repositorio.bde.es/bitstream/123456789/10532/1/be2001-art7.pdf>

LARGE, David y FARMER, James, 2009. Architectural Elements and Examples. [en línea]. Recuperado a partir de : <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374401-2.00010-3>

LENTZ, Stephen, 2016. New applications for submarine cables. En : *Undersea Fiber Communication Systems*, pp. 301-340. Elsevier. ISBN 978-0-12-804269-4. DOI 10.1016/B978-0-12-804269-4.00008-8.

LIU, Rong et al., 2020. Tunnel construction ventilation frequency-control based on radial basis function neural network. *Automation in Construction*. Vol. 118, p. 103293. DOI 10.1016/j.autcon.2020.103293.

LÓPEZ, Miguel David ROJAS, CORRALES, María Elena VALENCIA y PARRA, Daniel CUARTAS, 2017. Optimización racional de costos. .

MAKAROV, V.N. et al., 2021a. Mathematical model of active control over circulatory flow in mine fans. *Mining informational and analytical bulletin*. N.º 11-1, pp. 239-247. DOI 10.25018/0236\_1493\_2021\_111\_0\_239.

MAKAROV, V.N. et al., 2021b. Mathematical model of active control over circulatory flow in mine fans. *Mining informational and analytical bulletin*. N.º 11-1, pp. 239-247. DOI 10.25018/0236\_1493\_2021\_111\_0\_239.

MARTELL, Fernando et al., 2023. Evaluation of the degree of automation and digitalization using a diagnostic and analysis tool for a methodological implementation of Industry 4.0. *Computers & Industrial Engineering*. Vol. 177, p. 109097. DOI 10.1016/j.cie.2023.109097.

MORO, Miguel, 2013. *Tecnología industrial I. 1o Bachillerato* [en línea]. Ediciones Paraninfo, S.A. ISBN 978-84-283-3366-5. Recuperado a partir de : [https://www.google.com.pe/books/edition/Tecnolog%C3%ADa\\_industrial\\_I\\_1%C2%BA\\_Bachillerat/3xfuCWAAQBAJ?hl=en&gbpv=0](https://www.google.com.pe/books/edition/Tecnolog%C3%ADa_industrial_I_1%C2%BA_Bachillerat/3xfuCWAAQBAJ?hl=en&gbpv=0)

NEL, Andries J.H. et al., 2019a. Achieving energy efficiency with medium voltage variable speed drives for ventilation-on-demand in South African mines. *Journal of*

*Cleaner Production*. Vol. 232, pp. 379-390. DOI 10.1016/j.jclepro.2019.05.376.

NEL, Andries J.H. et al., 2019b. Achieving energy efficiency with medium voltage variable speed drives for ventilation-on-demand in South African mines. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 232, pp. 379-390. DOI 10.1016/j.jclepro.2019.05.376.

NIETO, Ernesto Córdoba, 2006. Manufactura y automatización. [en línea]. Recuperado a partir de : <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=64326315>

ORCHE, GARCÍA, Enrique, 2020. CALIDAD DEL AIRE EN LAS MINAS MUSEO SUBTERRÁNEAS. PROPUESTA DE ÍNDICES DE REFERENCIA. .

PARED, David, 2004. The Persistence Layer. . DOI <https://doi.org/10.1016/B978-012732350-3/50006-5>.

PÉREZ, Esteban, 2015. Los sistemas SCADA en la automatización industrial. *Revista Tecnología en Marcha*. Vol. 28, n.º 4, p. 3. DOI 10.18845/tm.v28i4.2438.

PÉREZ, Isaac Enríquez, 2016. Las teorías del crecimiento económico: notas críticas para incursionar en un debate inconcluso. [en línea]. Recuperado a partir de : [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2074-47062016000100004&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2074-47062016000100004&lng=es&nrm=iso)

POP, Rebeka-Anna et al., 2022. USAGE INTENTIONS, ATTITUDES, AND BEHAVIORS TOWARDS ENERGY-EFFICIENT APPLICATIONS DURING THE COVID-19 PANDEMIC. *Journal of Business Economics and Management*. Vol. 23, n.º 3, pp. 668-689. DOI 10.3846/jbem.2022.16959.

REGLAMENTO DE SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL EN MINERÍA, 2017. *REGLAMENTO DE SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL EN MINERÍA* [en línea]. D.S. N° 024-2016-EM. D.S. N° 024-2016-EM. Recuperado a partir de : <https://www.minem.gob.pe/>

RODRIGUES, Nancy, 2023. Cómo realizar un análisis de costo-beneficio (con

ejemplos). [en línea]. 20 febrero 2023. Recuperado a partir de : <https://blog.hubspot.es/sales/analisis-cost-beneficio> [accedido 2 diciembre 2023].

RODRIGUEZ, Oscar Oswaldo, FRANCO, Edinson y ROSERO, Esteban, 2022. Modeling and Control of Small-Scale Underground Mine Ventilation Networks. *Ingeniería e Investigación*. Vol. 43, n.º 1, p. e90968. DOI 10.15446/ing.investig.90968.

SERRA, Xavier, LÓPEZ, Manuel y TARGARONA, Eduardo, 2022. Investigación cuantitativa y cualitativa en cirugía. *Cirugía Española*. Vol. 100, n.º 5, pp. 306-308. DOI 10.1016/j.ciresp.2021.11.012.

SHLEIFER, Andrei, 1985. A theory of criterion competence. [en línea]. Recuperado a partir de : <https://scholar.harvard.edu/shleifer/publications/theory-yardstick-competition>

SKOPINTSEVA, O.V. y BALOVTSEV, S.V., 2021. Air quality control in coal mines based on gas monitoring statistics. *Mining informational and analytical bulletin*. N.º 1, pp. 78-89. DOI 10.25018/0236-1493-2021-1-0-78-89.

SKVAREKOVA, Erika, RIMAR, Miroslav y KIZEK, Jan, 2022. EXTRACTION OF METHANE GAS DURING BROWN COAL MINING AND POSSIBILITY OF ITS USAGE. *MM Science Journal*. Vol. 2022, n.º 1, pp. 5559-5565. DOI 10.17973/MMSJ.2022\_03\_2022003.

VILELA, Wilson, 2020. La contaminación ambiental ocasionada por la minería en la provincia de El Oro. *Estudios de la Gestión. Revista Internacional de Administración*. DOI 10.32719/25506641.2020.8.8.

WANG, Qianjin et al., 2019. Modeling and control of mine main fan switchover system. *ISA Transactions*. Vol. 85, pp. 189-199. DOI 10.1016/j.isatra.2018.10.024.

YU, Bao-Cai y SHAO, Liang-Shan, 2022a. Optimization of the non-stop switchover system control for the main fans used in mining applications. *Mechanics & Industry*. Vol. 23, p. 25. DOI 10.1051/meca/2022022.

YU, Bao-Cai y SHAO, Liang-Shan, 2022b. Optimization of the non-stop switchover system control for the main fans used in mining applications. *Mechanics & Industry*. Vol. 23, p. 25. DOI 10.1051/meca/2022022.

ZHOU, Wenjie et al., 2019. Modelling of ventilation and dust control effects during tunnel construction. *International Journal of Mechanical Sciences*. Vol. 160, pp. 358-371. DOI 10.1016/j.ijmecsci.2019.06.037.

## IX. ANEXOS

### Anexo 1. Tabla de operacionalización de variable.

**Tabla 10**

Matriz de operacionalización de la variable sistemas de automatización.

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicador	Escala
Sistemas de automatización	Un sistema de automatización se puede definir como una tecnología referida a procesos controlados por medio de instrucciones programadas (PÉREZ 2015).	Un sistema automatización de los equipos de ventilación se pueden medir en su eficiencia y que se da por el ahorro de tiempo, mayor precisión, exactitud en su funcionamiento y reducción de costos (ARANDA 2019).	Tiempo	Horas de funcionamiento del equipo	Razón
			Costos	Consumo de energía en unidades de potencia	Razón
				Precisión al medir las PPM de los gases	Razón
				Exactitud por medir el valor deseado	Razón

**Tabla 11**

Matriz de operacionalización de la variable consumo de energía.

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
Consumo de energía	El consumo de energía es la cantidad total de energía que necesita para un proceso determinado y se mide en kilovatios hora (kWh) (DABIJA, y otros, 2022).	Para obtener el consumo energético, se multiplican la energía consumida por el tiempo de operación y el precio de la energía eléctrica en kWh establecida por la compañía de servicio de electricidad (Macías García 2023).	Energía consumida	Según consumo en kW	Razón
		Tiempo de operación (hrs)		Razón	
		PRECIO ASIGNADO POR LA COMPAÑÍA DE SERVICIOS Según norma en \$. kWh		Razón	

**Anexo 2. Instrumento de recolección de datos.**

VARIABLE SISTEMA DE AUTOMATIZACION												
	10/08/20	10/09/20	10/10/20	10/11/20	10/12/20	10/01/20	10/02/20	10/03/20	10/04/20	10/05/20	10/06/20	10/07/20
	23	23	23	23	23	24	24	24	24	24	24	24
TIEMPO PARADO												
COSTO DE ENERGIA												
PRECISION												
EXACTITUD												

<b>VARIABLE: CONSUMO DE ENERGIA</b>					Precio de cambio de dólar	S/ 3,702	
					US\$/kWh:	0,095	
<b>DATOS DEL VENTILADOR</b>					Días del Mes	30	
<b>CONDIGO DE FAN</b>	<b>MARCA DE FAN</b>	<b>CAUDAL NOMINAL</b>	<b>POTENCIA EN kW</b>	<b>INDICE (kW/CFM)</b>	<b>MODELO</b>	<b>MOTOR</b>	<b>TIPO</b>
VE - 253	REMOVEX	100.000	200	0,14	LMT-400.4.10	WEG IE3	AXIAL
<b>MES</b>	<b>TIEMPO DE OPERACIÓN (HORAS)</b>	<b>ENERGIA (W) DIARIO</b>	<b>ENERGIA Y TIEMPO OP. (kWh)</b>	<b>COSTO DIA (US\$)</b>	<b>COSTO MENSUAL (US\$)</b>		
ENERO							
FEBRERO							
MARZO							
ABRIL							
MAYO							
JUNIO							
JULIO							
			<b>TOTAL, DE ENERGIA CONSUMIDA</b>	0	<b>TOTAL, DE COSTO POR LA ENERGIA CONSUMIDA</b>	\$0,000	





**E-MOTION INGENIERÍA S.A.C.**  
System Integrator

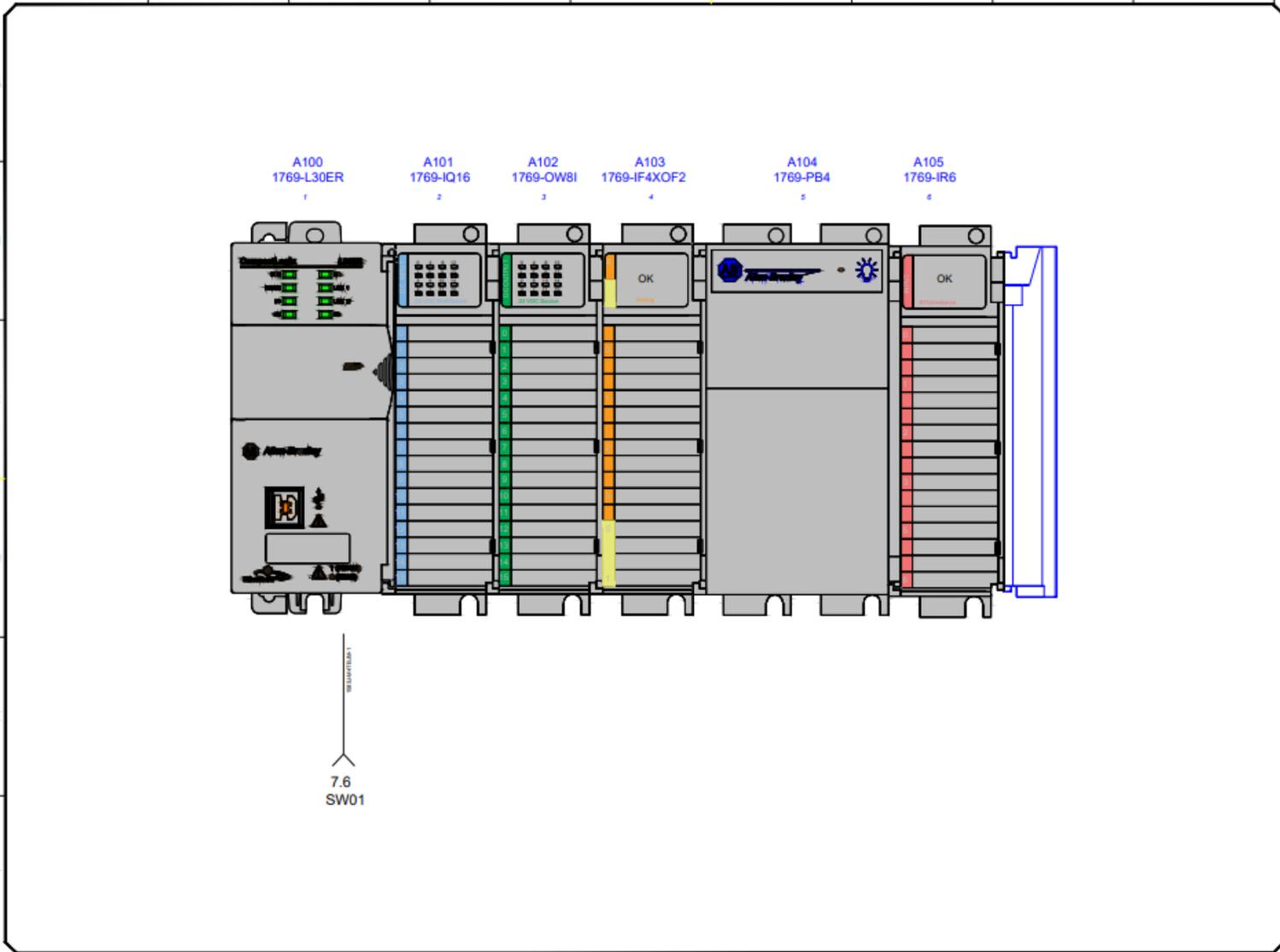
PÁG.	ÍNDICE	
01	CTRL_VENT_CAR	CARÁTULA DEL PROYECTO
02	CTRL_VENT_IND	ÍNDICE DE PLANOS
03	CTRL_VENT_LEXT	LAYOUT EXTERNO
04	CTRL_VENT_LINT	LAYOUT INTERNO
05	CTRL_VENT_LART	LISTA DE ARTICULOS
06	CTRL_VENT_CL30	COMPACT LOGIX L30ER
07	CTRL_VENT_CSW	SWITCH ETHERNET, STRATIX 2000
08	CTRL_VENT_DE01	DISTRIBUCION ELECTRICA, PARTE 01
09	CTRL_VENT_DE02	DISTRIBUCION ELECTRICA, PARTE 02
10	CTRL_VENT_DI01	ENTRADAS DIGITALES, PARTE 01
11	CTRL_VENT_DI02	ENTRADAS DIGITALES, PARTE 02
12	CTRL_VENT_DO	SALIDAS DIGITALES
13	CTRL_VENT_AI01	ENTRADAS ANALÓGICAS, PARTE 01
14	CTRL_VENT_AI02	ENTRADAS ANALÓGICAS, PARTE 02
15	CTRL_VENT_AO	SALIDAS ANALÓGICAS
16	CTRL_VENT_RTD1	SEÑALES RTD, PARTE 01
17	CTRL_VENT_RTD2	SEÑALES RTD, PARTE 02
18	CTRL_VENT_RTD3	SEÑALES RTD, PARTE 03

**E-MOTION**  
Ingeniería S.A.C.

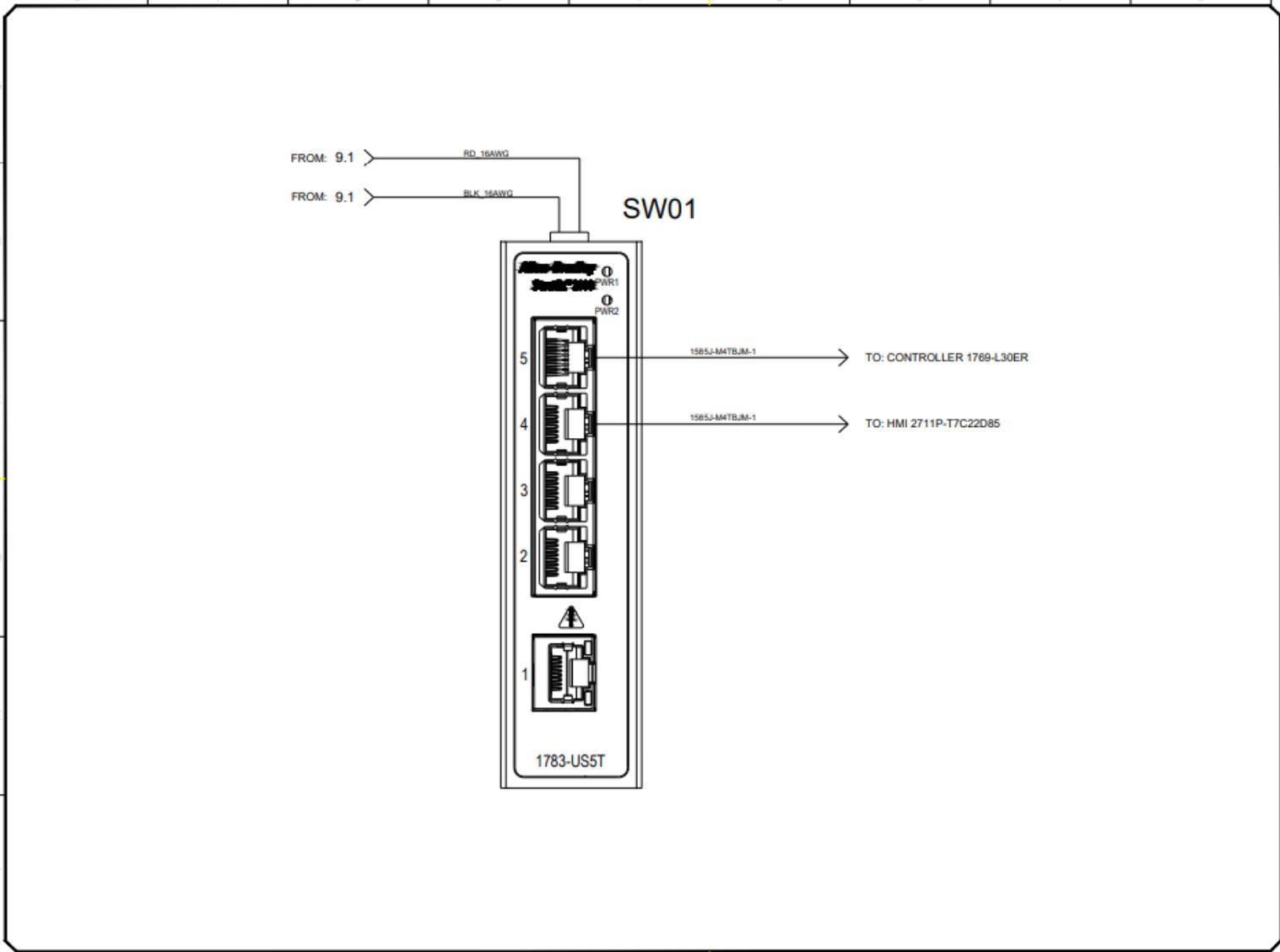
NO.	DESCRIPCIÓN	FECHA
01	Índice	05/05/2022
02	CTRL_VENT_IND	02 OF 19



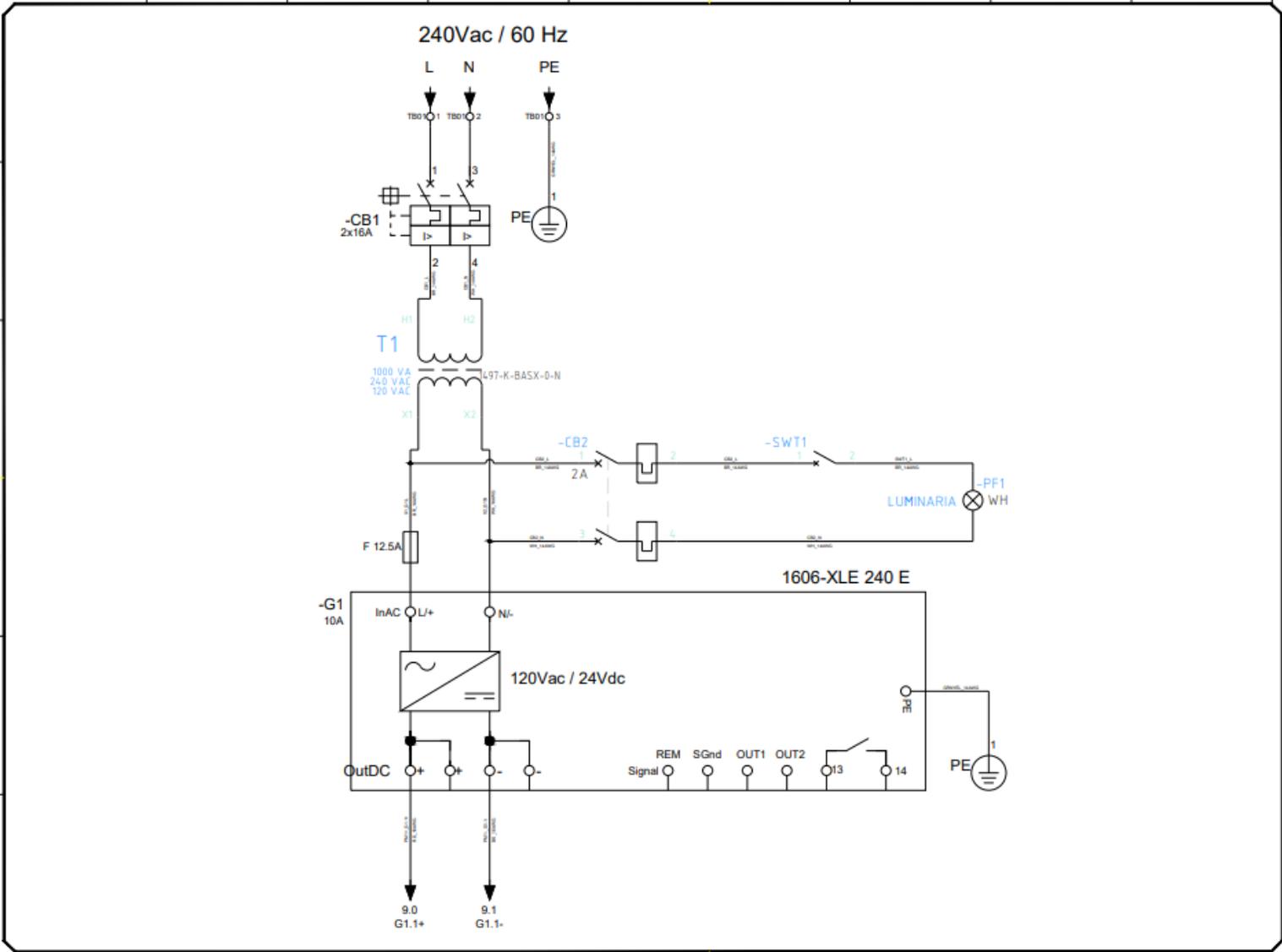




COMPACTLOGIX LOWER	
REV	DATE
01	10/05/2022
CTRL_VENT_CLSO	
06 OF 19	



SWITCH ETHERNET	
STRATIX 2000	
REV	01
DATE	10/05/2022
CTRL_VENT_CSW	
07 OF 19	



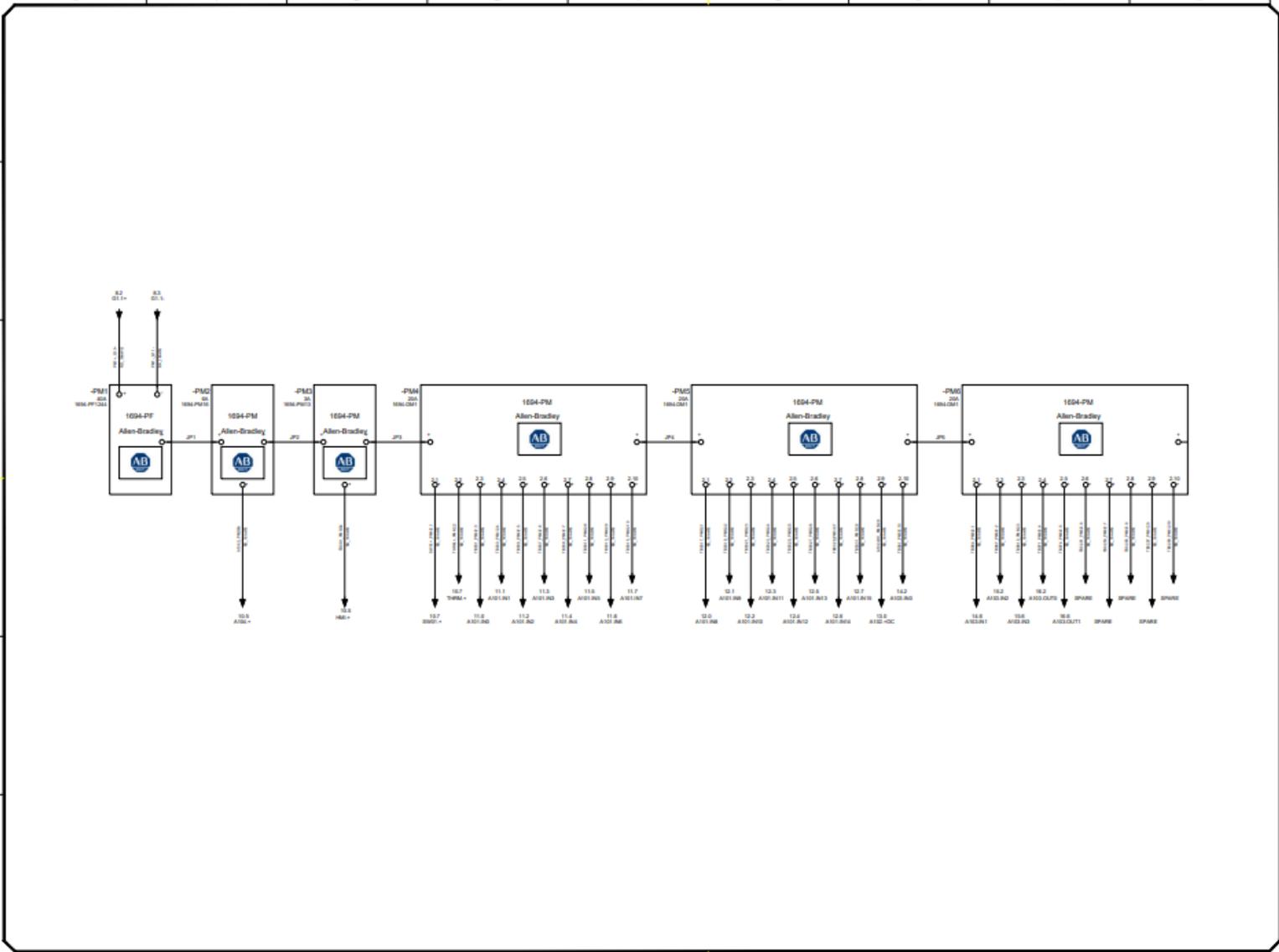
E-MOTION  
Ingeniería S.A.C.

Rev	Descripción	Fecha
01	01	10/05/2023

Distribución  
Electricas  
PARTE 01

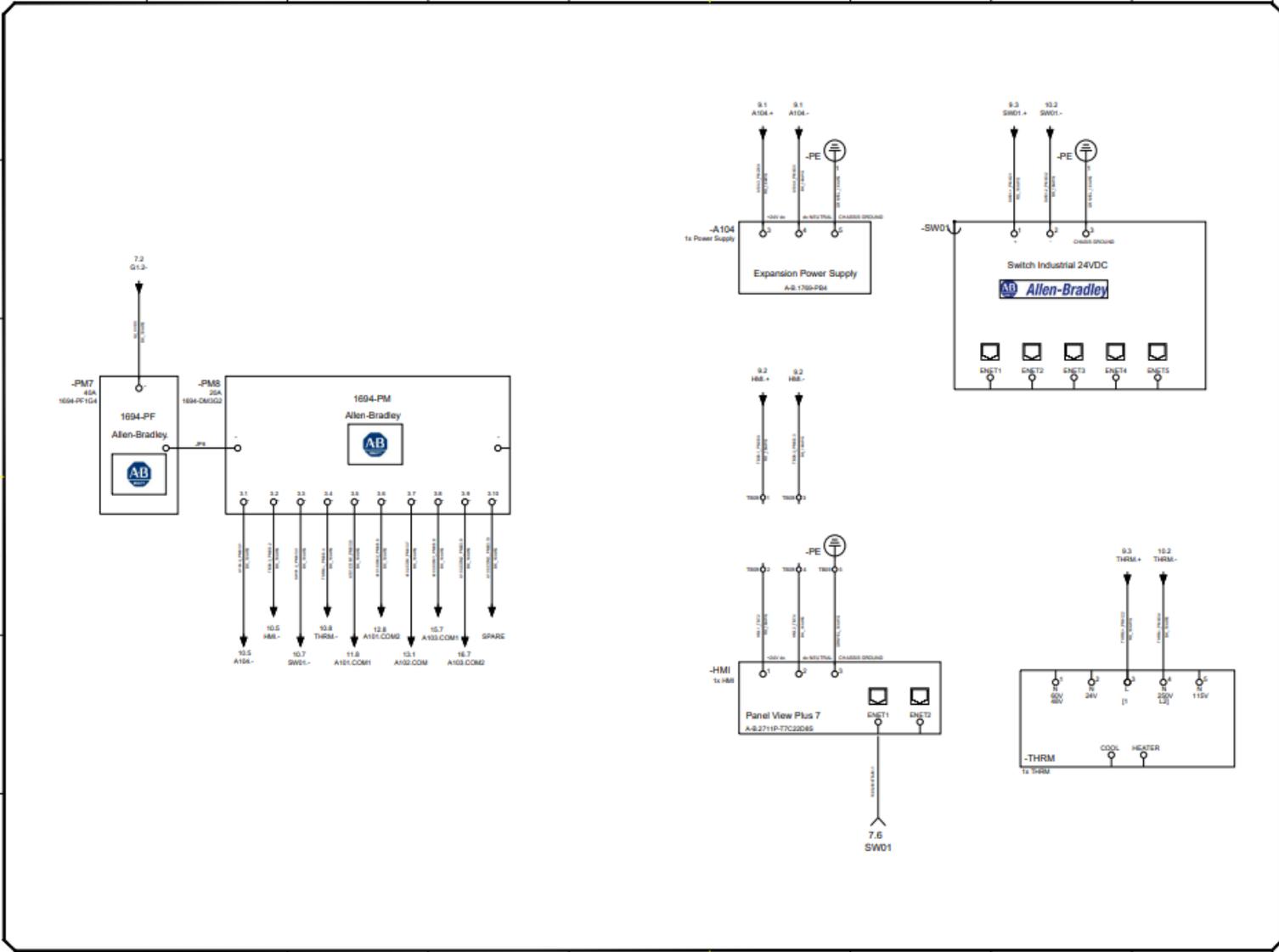
CTRL\_VENT\_DED01

08 OF 19



**E-MOTION**  
Ingeniería S.A.C.

Distribución Eléctrica PARTE 02	
AB	02
02	02
10/05/2022	
CTRL_VENT_DE02	
09 OF 19	



**E-MOTION**  
Ingeniería S.A.C.

Distribución Electrica PARTE 03	
PROYECTO	DE
FECHA	BO
REVISOR	10/05/2022
CTRL_VENT_DE03	
10 OF 19	



**E-MOTION INGENIERÍA S.A.C.**  
System Integrator

## GABINETE DE RESPALDO DE ENERGÍA

CLIENTE:	MINERA PODEROSA
RESPONSABLE:	DANIEL NOVARIO
REFERENCIA PROYECTO:	EMOT_UPS_VENT
DESCRIPCION:	GABINETE DE RESPALDO DE ENERGÍA PARA SISTEMA DE VENTILACIÓN - OPERACIONES MINA
TIPO DE GABINETE:	MURAL DE METAL RAL2004
VOLTAJE DE ALIMENTACION:	460/480 VAC
VOLTAJE DE SALIDA:	240 VAC
REVISION:	AS BUILT

**E-MOTION**  
Ingeniería S.A.C.

CARATULA

UPS\_VENT\_CAR

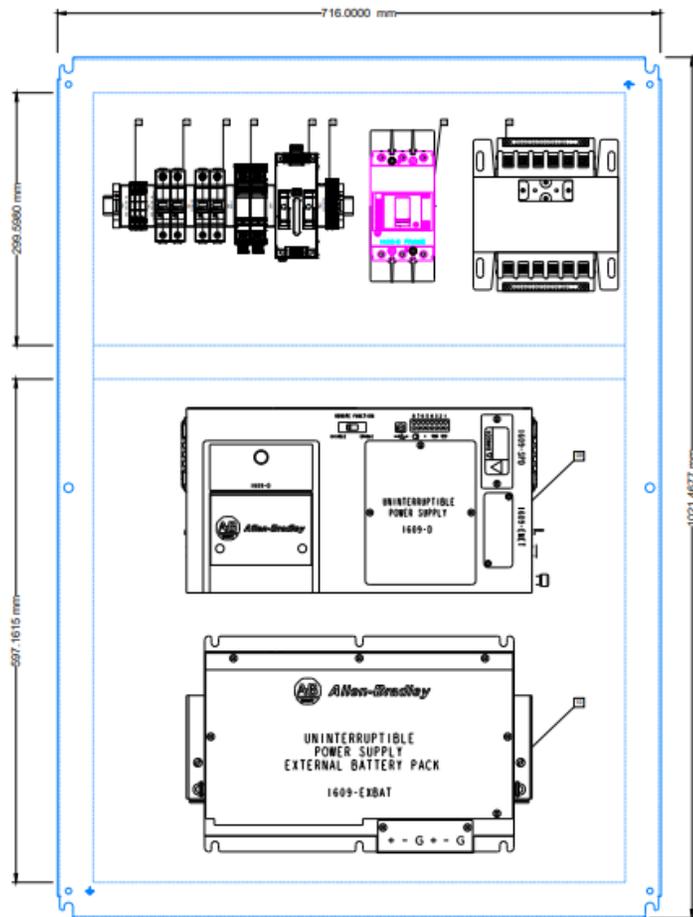
1 OF 6



PÁG.	ÍNDICE	
01	UPS_VENT_CAR	CARÁTULA DEL PROYECTO
02	UPS_VENT_IND	ÍNDICE DE PLANOS
03	UPS_VENT_LEXT	LAYOUT EXTERNO
04	UPS_VENT_LINT	LAYOUT INTERNO
05	UPS_VENT_DE01	DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA

**E-MOTION**  
 Ingeniería S.A.C.

ÍNDICE
No. de Proyecto: No. de Hoja: Fecha: 10/05/2022
UPS_VENT_IND
2 OF 5



ITEM	CATÁLOGO	DESCRIPCIÓN	CANT.
01	1492SPM1C100	CIRCUIT BREAKER, 10A, 1P, 277VAC TRIP C	02
02	1492SPM2C020	CIRCUIT BREAKER, 2A, 2P, 277VAC TRIP C	01
03	4983-DS230-402	SURGE PROTECTIVE DEVICE, 130 VAC, 2P	01
04	4983-DC240-10	FILTER, SURGE PROTECTIVE DEVICE, 240VCA,10A	01
05	1496-J4	TERMINAL BLOCK, BORNERAS PARA LUMINARIA	02
06	1496-J4	TERMINAL BLOCK, BORNERAS PARA 220v	02
07	1497B-A11-M14-3-N	TRANSFORMADOR DE VOLTAJE, 1000VA, PRIM 240-480VAC / SEC 120-240VAC 60Hz	01
08	140G-G2C3-C20	Breaker, Molded Case, 20 Amp, 3-Pole, 600Y/347 Volt AC, G Frame, 10 kAIC	01
09	1609-D1000N	UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY, 1000VA OUTPUT	01
10	1609-EXBAT	POWER SUPPLY EXTERNAL BATTERY (+9 BATTERY)	01

**E-MOTION**  
Ingeniería S.A.C.

LAYOUT INTERNO

REV	BY	DATE
01	EE	10/05/2022

UPS\_VENT\_LINT

4 OF 6





\* Equipamiento Electrico:

- Supresión de sobretensión transitoria.
- Contactor de línea NEMA.
- Retardo de encendido con relé de temporización para el inicio del tiempo transcurrido.
- Relé de monitoreo de voltaje de 3 fases.
- Luces Piloto:
- Green RUN LED - 120Vac // Red STOP LED - 120Vac // Amber FAULT LED - 120Vac
- Botón pulsador iluminado:
- Green START // Red STOP
- Parada de emergencia.
- Selector 3 posiciones.

\* Ventaja competitiva: Tecnología TotalFORCE

Los variadores PowerFlex 755T ofrecen características innovadoras que no se encuentran en ningún otro variador de CA. La más significativa es la introducción de la tecnología TotalFORCE, que contribuye a que su aplicación alcance un mayor rendimiento, una mayor calidad y un reducido tiempo improductivo.

N°	N° RQ	ITEM RQ	ARTÍCULO	CANTIDAD	UM	DESCRIPCIÓN	FECHA ENTREGA	PREC. UNIT.	%DS 1	%DS 2	Importe
						* Incluye: - Planos Eléctricos / Mecánicos del Tablero. - Certificado Pruebas FAT. - Datasheet de los equipos. - Soporte remoto - Embalaje jaula o caja de madera sobre pallet					

## Anexo 5: Cotización de la estación de monitoreo de gases.



### RESUMEN DE PRECIOS

ESTACIÓN DE MONITOREO DE GASES - MINA PODEROSA						
1. MEDICIÓN DE GASES EN INTERIOR MINA						
ITEMS	DESCRIPCIÓN	MARCA		CANT.	P.UNITARIO	P.TOTAL
1.1	<b>ESTACIÓN DE CALIDAD DE AIRE</b> Incluye: Modulos para medición de 04 gases, 01 temperatura del aire. - CO, CO2, O2, NO2 - Temperatura y humedad del aire	Maestro Digital Mine	VAQS-RG002-RG004-RG008- RG018-RRH-MB-AB-RM	1	USD 13,768.82	USD 13,768.82
1.2	<b>SUPERBRITE</b> Estación de visualización con protector de acero inox.	Maestro Digital Mine	SBMD-115V-SS-MB	1	USD 6,131.18	USD 6,131.18
<b>TOTAL</b>						<b>USD 19,900.00</b>
2. KIT DE CALIBRACIÓN						
2.1	Botella de gas patron para calibración CO; 250 PPM, balance aire 103 Litros	Maestro Digital Mine	HGC-SG-002	1	USD 311.06	USD 311.06
2.2	Botella de gas patron para calibración NO2; 5 PPM, balance aire 58 Litros	Maestro Digital Mine	HGC-SG-004	1	USD 574.53	USD 574.53
2.3	Botella de gas patron para calibración O2; 20.9%, balance aire 103 Litros	Maestro Digital Mine	HGC-SG-008	1	USD 311.06	USD 311.06
2.4	Botella de gas patron para calibración CO2; 2.5 %, balance aire 103 Litros	Maestro Digital Mine	HGC-SG-018	1	USD 296.00	USD 296.00
2.5	Regulador de gas y manguera Acero inoxidable, manguera Tygon de 10', Calibre 1200 psig, Tasa de flujo 0.5 SLPM (litros estándar por minuto. Para uso con cilindros de 58, 76, 103 litros	Maestro Digital Mine	HGC-REG-001	1	USD 439.03	USD 439.03
2.6	Estuche de gas de calibración. Para dos cilindros de 58, 76 o 103 Litros	Maestro Digital Mine	HGC-CASE-001	2	USD 193.17	USD 386.34
2.7	Bandeja para calentamiento de sensores de gas	Maestro Digital Mine	HGC-WUT-001	1	USD 2,689.47	USD 2,689.47
2.8	Estación de Calibración de Gas	Maestro Digital Mine	EZGC-1	1	USD 2,087.24	USD 2,087.24
<b>TOTAL</b>						<b>USD 7,094.73</b>
<b>TOTAL SUMINISTRO</b>						<b>USD 26,994.73</b>

## Anexo 6: Cotización de los tableros de control y fuente de respaldo del sistema de automatización.

**E-MOTION INGENIERÍA S.A.C.**  
System Integrator

Av. 26 de Marzo 1756  
Flores de Mora, Trujillo  
(+51) 950 790 187  
[orodriguez@emotioningenieria.com](mailto:orodriguez@emotioningenieria.com)

COTIZACIÓN N°: CMP-ELE.002.22 v1.1

FECHA: 28/02/2022

**INFORMACIÓN DEL CLIENTE**

Ing. Daniel Novario  
(+51) 993 572 860  
COMPAÑÍA MINERA PODEROSA S.A.  
Vijus, Patate. La Libertad

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	N# DE PARTE	Marca	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	TABLERO DE CONTROL	TAB-CTR-001	EMOTION	\$ 11,987.52	\$ 11,987.52
	<b><u>CONTIENE:</u></b>				
	- <b>Gabinete tipo mural</b> 700 (alto)x1000 (ancho)x300 (profundidad), IP66, color anaranjado RAL 2004.				
	* <u>Incluye:</u> techo inclinado, luminaria led interior, interruptor de puerta, pedestal y cierre de puerta.				
	* <u>Incluye:</u> techo inclinado, luminaria led interior, interruptor de puerta, pedestal y cierre de puerta.				
	* <u>Incluye:</u> Termostato, resistencia calefactora y tomacorriente				
	- <b>HMI Panel View Estándar de 7"</b> (Marca: Allen Bradley, modelo: 2711P-T7C22D8S )				
	- <b>Controlador CompactLogix L33R</b> (Marca: Allen Bradley, modelo: 1769-L33ER)				
	* <u>Incluye:</u> Modulos de 16 Digital Input ; 8 Digital Output, 4 Analogic Input y 6 entradas RTD				
	- <b>Switch Stratix 2000</b> , 8 puertos TCP/IP (Marca: Allen Bradley, modelo: 1783-US8T )				
	- <b>Power Supply para Compact Logix</b> (Marca: Allen Bradley, modelo: 1769-PB4 )				
	- <b>Power Supply</b> , Entrada: 110/220 Vac, Salida: 24Vdc, 5A (Marca: Allen Bradley, modelo: 1606XLE120E )				
				<b>PRECIO TOTAL</b>	<b>\$ 11,987.52</b>



## Anexo 7: Cotización de la programación y puesta en marcha del sistema de automatización.



### COTIZACIÓN

#### DIVISIÓN AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

FECHA	N° COTIZACIÓN	VER.	PÁGINAS
01/08/2023	T23-AL-CT898	01	2 de 3

DATOS DEL CLIENTE
<b>COMPAÑÍA MINERA PODEROSA S.A.</b> Atención: Ing. Sergio Otiniano Alcalde Ingeniero de Instrumentación y Control de Procesos Av. La Floresta Nro. 497 Int. 501, Urb. Chacarrilla del Estanque, San Borja Telf.: +511-6172720 Anexo: 2399 Celular: 942659410 RUC: 20137025354

DATOS DEL PROVEEDOR
<b>TAMCI S.R.L.</b> Resp.: Marco Rojas / 948405089/ <a href="mailto:marco.rojas@tamciperu.com">marco.rojas@tamciperu.com</a> Área de Automatización Industrial Av. Próceres de la Independencia 1929 Of. 501 - S.J.L. - Lima Telf.: +51-1-3746505 RUC: 20536194445

SERVICIO	FECHA VENCIMIENTO	CONDICIONES
INTEGRACIÓN DE SISTEMA DE VENTILACIÓN 318 - NIVEL 2120 - SANTA MARÍA	21/08/2023	30 días

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (UND)	HORAS (h)	DÍAS (d)	PRECIO UNIT. (PEN)	T. HORAS (h)	SUB TOTAL (PEN)
<b>1.0</b>	<b>INTEGRACIÓN DE SISTEMA DE VENTILACIÓN 318 - NIVEL 2120 - SANTA MARÍA</b>						
<b>1.1</b>	<b>DESARROLLO Y EJECUSIÓN:</b>						
	Ingeniero de aplicaciones	1	12	3.75	87.54	45	3,939.30
	<b>ALCANCE:</b>						
	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Desarrollo en pantalla de proceso.</li> <li>➤ Configuración de variador Danfoss.</li> <li>➤ Configuración de EGX150.</li> <li>➤ Programación de sistema de supervisión de acuerdo a estándar - SCADA.</li> <li>➤ Programación de lógica de control de acuerdo a estándar - PLC.</li> <li>➤ Programación de comunicación variador - Gateway - PLC.</li> <li>➤ Pruebas de funcionamiento.</li> <li>➤ Puesta en servicio.</li> <li>➤ Desarrollo de informe de servicio.</li> </ul>						
<b>1.2</b>	<b>HERRAMIENTAS, EQUIPOS Y SOFTWARE:</b>						
	Laptop Dell Workstation	1		3.75	11.25		42.19
	Servidor para Base de Datos	1		3.75	8.88		33.30
	Mouse Inalámbrico	1		3.75	0.31		1.16
	Disco SSD Externo	1		3.75	1.21		4.54
	Celular de trabajo	1		3.75	5.64		21.15
	Cable conversor RS485 a USB	1		3.75	0.32		1.20
	Cable Patch Cord RJ45	1		3.75	0.13		0.49
	Licencia SCADA	1		3.75	17.27		64.76
	Licencia PLC	1		3.75	59.51		223.16
	Licencia Office	1		3.75	5.55		20.81
	Licencia TeamViewer	1		3.75	3.93		14.74
	Licencia SQL	1		3.75	13.96		52.35
	Licencia Windows 10	1		3.75	3.29		12.34



## COTIZACIÓN

FECHA	N° COTIZACIÓN	VER.	PÁGINAS
01/08/2023	T23-AL-CT898	01	3 de 3

### DIVISIÓN AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (UND)	HORAS (h)	DÍAS (d)	PRECIO UNIT. (PEN)	T. HORAS (h)	SUB TOTAL (PEN)	
1.3	<b>EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL:</b>							
	Casco	1		3.75	0.28		1.05	
	Orejera	1		3.75	0.54		2.03	
	Respirador y Filtro	1		3.75	1.31		4.91	
	Guantes de Instrumentación	1		3.75	4.95		18.56	
	Lentes	1		3.75	0.73		2.74	
	Barbiquejo	1		3.75	0.01		0.04	
	Chaleco Reflectivo	1		3.75	0.13		0.49	
	Camisa jean de trabajo	1		3.75	0.87		3.26	
	Pantalón jean de trabajo	1		3.75	0.73		2.74	
	Zapato Dieléctrico	1		3.75	1.83		6.86	
	Casaca Portwest	1		3.75	1.56		5.85	
	1.4	<b>MOVILIZACIÓN Y OTROS:</b>						
Transporte aéreo a Trujillo		1		3.75	6.62		24.83	
Movilidad, alojamiento y alimentación antes de viaje a mina		1		3.75	2.20		8.25	
Transporte terrestre		1		3.75	4.06		15.23	
	Alimentación en movilización hacia mina	1		3.75	0.60		2.25	
<b>CONDICIONES COMERCIALES:</b> ✓Tiempo de Entrega: Previa orden de compra, a coordinar. ✓Forma de Pago: Factura a 30 días, contra entrega de factura. ✓Validez de Oferta: 20 días. ✓Garantía: 3 meses. ✓Tipo de cambio, de acuerdo a contrato. ✓Los precios no incluyen I.G.V. ✓Tipo de Moneda: Sol.								
<b>NOTA: LOS PRECIOS DE VENTA NO INCLUYEN IGV.</b>							<b>SUB-TOTAL</b>	4,530.56
							GASTOS GENERALES (10%)	453.06
							UTILIDADES (5%)	226.53
							<b>TOTAL (S/)</b>	<b>5,210.15</b>

### Anexo 3. Resultado de Similitud del programa en Turnitin.

Visualizador de documentos

#### Turnitin Informe de Originalidad

Procesado el: 25-jun.-2023 11:48 -05  
 Identificador: 2120685985  
 Número de palabras: 4620  
 Entregado: 2

G5

Índice de similitud	Similitud según fuente
13%	Internet Sources: 11% Publicaciones: 1% Trabajos del estudiante: 7%

---

excluir citas  
  Excluir bibliografía  
  excluir las coincidencias menores  
 modo: ver informe en vista quickview (vista clásica) ▼  
   

1% match (Internet desde 26-dic.-2022) <a href="https://repositorio.unpgrg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/10706/Guevara_Rocha_Alexis_Roger%20y%20L%c3%b3pez_Mego_C%c3%a9sar.pdf?isAllowed=v&amp;sequence=1">https://repositorio.unpgrg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/10706/Guevara_Rocha_Alexis_Roger%20y%20L%c3%b3pez_Mego_C%c3%a9sar.pdf?isAllowed=v&amp;sequence=1</a>
1% match (trabajos de los estudiantes desde 17-abr.-2023) <a href="#">Submitted to Universidad Cesar Vallejo on 2023-04-17</a>
1% match (trabajos de los estudiantes desde 16-nov.-2022) <a href="#">Submitted to Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC on 2022-11-16</a>
1% match (Internet desde 27-ago.-2021) <a href="https://edu.sacolife.com/58447/que-tipo-de-factor-de-potencia-es-bueno-y-por-que.html">https://edu.sacolife.com/58447/que-tipo-de-factor-de-potencia-es-bueno-y-por-que.html</a>
1% match (Internet desde 19-sept.-2022) <a href="https://soloindustriales.com/investigacion-experimental/">https://soloindustriales.com/investigacion-experimental/</a>
1% match (Internet desde 01-abr.-2023) <a href="https://hoophangout.com/esta/que-es-una-subestacion-electrica/">https://hoophangout.com/esta/que-es-una-subestacion-electrica/</a>
1% match (trabajos de los estudiantes desde 23-jul.-2020) <a href="#">Submitted to Universidad Internacional de la Rioja on 2020-07-23</a>

Activar Windows  
 Ve a Configuración para activar