

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Eléctrica

Tesis

**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**

Rómulo Aranda Ramos

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Electricista

Huancayo, 2020

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

ASESOR

Ing. Pedro Gurmendi Párraga

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a la Universidad Continental, en especial por brindar el soporte académico para la formación complementaria en la modalidad de Gente que Trabaja, la cual realmente fortalece el alcance de ideales respecto de la formación profesional de la colectividad. Así también, agradezco a la Compañía Minera Raura, por brindar el soporte en recolección de información necesario y adecuado.

En segundo lugar, agradezco a mi asesor de tesis: Ingeniero Pedro Gurmendi Párraga, por el compartir de conocimientos para el alcance adecuado y oportuno de aportes al conocimiento con la presente tesis. De igual manera a la organización Main Tools por el soporte brindado para con la metodología de investigación de la presente, así como en la corrección de estilos.

Finalmente, y no menos importante, agradezco a mis hermanos, por siempre darme aliento a ser profesional y así poder alcanzar anhelos personales y en conjunto familiar.

DEDICATORIA

El motor de vida para un hijo, son sus padres. Dedico la tesis a ellos, papá y mamá, por siempre ser el soporte adecuado para tomar decisiones adecuadas. También dedico la tesis a todas las personas que de algún modo aportaron con información y soporte técnico de la misma.

ÍNDICE

ASESOR.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
ÍNDICE.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x
INTRODUCCIÓN.....	xi
CAPÍTULO I.....	1
1.1. Planteamiento y formulación del problema.....	1
1.1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.1.2. Formulación del problema.....	4
1.2. Objetivos.....	4
1.2.1. Objetivo general.....	4
1.2.2. Objetivos específicos.....	4
1.3. Justificación e importancia.....	5
1.3.1. Justificación práctica.....	5
1.3.2. Justificación académica.....	5
1.3.3. Justificación social.....	6
1.3.4. Importancia.....	6
1.4. Hipótesis y variables.....	6
1.4.1. Hipótesis de investigación.....	6
1.4.2. Hipótesis específicas.....	7
1.4.3. Operacionalización de las variables.....	7
CAPÍTULO II.....	9
2.1. Antecedentes de la investigación.....	9

2.1.1.	Antecedentes encontrados en artículos científicos	9
2.1.2.	Antecedentes encontrados en tesis	13
2.1.3.	Antecedentes encontrados en artículos de divulgación	17
2.2.	Bases teóricas	19
2.2.1.	Fundamentos teóricos de la investigación	19
2.2.2.	Fundamentos metodológicos de la investigación	29
2.3.	Definición de términos	48
CAPÍTULO III.....		51
3.1.	Método, tipo y nivel de la investigación.....	51
3.1.1.	Métodos de la investigación.....	51
3.1.2.	Tipo de la investigación	52
3.1.3.	Nivel de la investigación	52
3.2.	Diseño de la investigación	52
3.3.	Población y muestra	53
3.3.1.	Población (N).....	53
3.3.2.	Muestra (n).....	53
3.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	54
3.4.1.	Técnicas de recolección de datos.....	54
3.4.2.	Instrumentos de recolección de datos.....	54
3.5.	Técnicas de análisis y procesamiento de datos	55
CAPÍTULO IV		56
4.1.	Resultados de la investigación.....	56
4.2.	Discusión de resultados.....	78
CONCLUSIONES		81
RECOMENDACIONES.....		82
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		83
ANEXOS.....		86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01. Cuadro que resumen accidentes laborales y pérdidas del recurso humano a nivel de interior mina en Colombia y China.....	1
Figura 02. Esquema de control de sistemas de monitoreo de gases automatizado (ventiladores y sensores.....	2
Figura 03. Diagrama general del monitoreo de atmósferas en espacios confinados.....	11
Figura 04. Ejemplo de un esquema del sistema SCADA.....	20
Figura 05. Cuadro de clasificación de gases presentes en interior mina.....	24
Figura 06. Sistemas de ventilación en minería.....	25
Figura 07. Diagramas de flujo de la ventilación principal: natural o forzada.....	26
Figura 08. Sistemas de ventilación auxiliar.....	26
Figura 09. Esquema de una red de distribución de energía eléctrica.....	28
Figura 10. Ejemplo de la red de sistemas de automatización.....	30
Figura 11. Modelos de arrancadores trifásicos.....	31
Figura 12. Modelos de arrancadores.....	31
Figura 13. Interfaz de aplicación de la Guía Gemma orientado en la selección de modo.....	33
Figura 14. Modelo de la configuración de los controladores.....	33
Figura 15. Modelo de configuración en paralelo de arrancadores de motor.....	35
Figura 16. Esquema del principio de funcionamiento asociado a los detectores o sensores de proximidad asociado a capacitivos.....	36
Figura 17. Representaciones de la dispersión de los datos semanales y estadísticos descriptivos respecto de la potencia distribuida (Kw).....	57
Figura 18. Representaciones de la dispersión de los datos semanales y estadísticos descriptivos respecto del control de la temperatura del motor del ventilador.....	59
Figura 19. Representaciones de la dispersión de los datos semanales y estadísticos descriptivos respecto del control de la vibración del motor del ventilador.....	61
Figura 20. Representaciones de la dispersión y estadísticos descriptivos del control de la velocidad del viento en interior mina con SCADA.....	63
Figura 21. Representaciones de la dispersión del control y estadísticos descriptivos del voltaje asociado a la distribución de energía eléctrica en el sistema de ventilación con SCADA.....	65
Figura 22. Representaciones de la dispersión y estadísticos descriptivos del control de la corriente que ha sido distribuida en el sistema de ventilación con SCADA.....	67
Figura 23. Representaciones de la dispersión y estadísticos descriptivos del control de la frecuencia que ha sido distribuida en el sistema de ventilación con SCADA.....	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01. Descripción y operacionalización de las variables de estudio.....	8
Tabla 02. Componentes de la ventana de edición del SCADA.....	21
Tabla 03. Herramientas del sistema SCADA.....	22
Tabla 04. Clasificación de gases en interior mina.....	24
Tabla 05. Propiedades de los sistemas autómatas compactos.....	30
Tabla 06. Datos del control de la potencia distribuida con SCADA hacia el sistema de ventilación.....	56
Tabla 07. Datos del control de la temperatura del motor de los ventiladores.....	58
Tabla 08. Datos del control de la vibración de los ventiladores con SCADA.....	60
Tabla 09. Datos del monitoreo con SCADA de la velocidad del viento en interior mina.....	62
Tabla 10. Datos del voltaje distribuido y controlado mediante el sistema SCADA.....	64
Tabla 11. Datos de la corriente distribuida y controlada mediante el sistema SCADA.....	66
Tabla 12. Datos de la frecuencia distribuida y controlada mediante el sistema SCADA.....	68
Tabla 13. Parámetros eléctricos y potencia distribuida controlada con el sistema de automatización SCADA.....	75

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo determinar cómo la automatización del sistema de ventilación (SCADA) relacionado al control de gases presentes en interior mina influye en la óptima distribución de energía eléctrica de la Compañía Minera Raura S.A., 2019. Se empleó el método científico, de corte hipotético-deductivo basado en la observación. El nivel de investigación fue el explicativo y de tipo aplicado. El diseño de la tesis fue no experimental de corte transversal. La población recae en asumir a los troncales donde el sistema SCADA fue implementado (sistema de ventilación en dichas secciones), determinando a la muestra en un entorno no probabilístico al troncal 1, de modo que los componentes instaurados como tal para tal ramificación se evidencien, tras su análisis, como un aporte en el objeto de la determinación de la optimización de la distribución de la energía eléctrica. Se ha determinado que las condiciones de operación del sistema de ventilación controlada por la automatización con SCADA se relacionan positiva y moderadamente con el control de los parámetros de operación del motor que acciona al sistema de ventilación respecto de su temperatura y vibración, mientras que para el control de la velocidad del viento tiende por ser insignificante por ser producto de la ventilación en interior mina y no directamente relacionada con la distribución de energía eléctrica más solo la lectura de anemómetros, mientras que para los parámetros eléctricos, respecto de su comparación frente a la potencia distribuida, se determinó una relación positiva y moderada, de modo que aporta dentro de la optimización de la distribución de energía eléctrica como sistema de automatización que permite controlar adecuadamente las operaciones en el proceso de ventilación. Finalmente, se concluye que la automatización del sistema de ventilación mediante el soporte SCADA, relacionado al control de gases presentes en interior mina, influye en la óptima distribución de energía eléctrica de la Compañía Minera Raura S.A., 2019, ya que favorece al control adecuado de los parámetros eléctricos: voltaje ($\mu_v = 0.087$), corriente ($\mu_c = 0.069$) y frecuencia ($\mu_f = 0.172$) asociados a la potencia distribuida (kW), así como se relaciona positiva y moderadamente con el control adecuado de las condiciones de operación del sistema de ventilación (temperatura y vibración del motor de los ventiladores), además de generar interfaces de control a distancia y en tiempo real, lo cual permite escenarios de menos interrupciones en las actividades en interior mina.

Palabras clave: SCADA, distribución de energía eléctrica, interior mina, sistema de ventilación.

ABSTRACT

The objective of this work was to determine how the automation of the ventilation system (SCADA) related to the control of gases present inside the mine influences the optimal distribution of electrical energy of Compañía Minera Raura S.A., 2019. The scientific method of hypothetical-deductive cutting based on observation was used. The level of research was explicative and applied type. The thesis design was non-experimental cross-sectional. The population relies on assuming the trunks where the SCADA system was implemented (ventilation system in said sections), determining the sample in a non-probabilistic environment to the trunk 1, so that the components established as such for such branching are evidenced, after its analysis, as a contribution in order to determine the optimization of the distribution of electric energy. It has been determined that the operating conditions of the ventilation system controlled by SCADA automation are positively and moderately related to the control of the operating parameters of the motor that drives the ventilation system with respect to its temperature and vibration, while for the Wind speed control tends to be insignificant because it is a product of indoor mine ventilation and not directly related to the distribution of electrical energy plus just anemometer reading, while for electrical parameters, in comparison to the comparison with the distributed power, a positive and moderate relationship was determined, so that it contributes to the optimization of the distribution of electric energy as an automation system that allows to adequately control the operations in the ventilation process. Finally, it is concluded that the automation of the ventilation system by means of the SCADA support, related to the control of gases present inside the mine, influences the optimal distribution of electrical energy of Compañía Minera Raura SA, 2019, since it favors the adequate control of the electrical parameters: voltage ($\mu_v = 0.087$), current ($\mu_c = 0.069$) and frequency ($\mu_f = 0.172$) associated with the distributed power (kW), as well as being positively and moderately related to the adequate control of the operating conditions of the ventilation system (temperature and vibration of the fan motor), in addition to generating remote control interfaces and in real time, which allows scenarios of fewer interruptions in activity inside the mine.

Keywords: SCADA, electric power distribution, interior mine, system of ventilation.

INTRODUCCIÓN

La gran relevancia de la minería a nivel mundial se da por la extracción de materia prima necesaria para la producción de materiales, equipos y tecnología de modo que el ser humano alcance su desarrollo, sin embargo, las labores que se dan en su desarrollo se por sí son reconocidas por su alto riesgo asociado a terminología de explotación, donde, a nivel subterráneo o en forma de tajo abierto, labores industriales y condiciones de trabajo inseguras para el hombre dificultan procesos que en muchos casos evidencian la inviabilidad en temas de formalización, lo cual no recae o engloba a minería de explotación mediana o significativa, cada una con características específicas, principalmente por ser reconocidas en el ámbito internacional, lo cual perjudicaría inmensamente su perfil y reconocimiento.

Uno de los aspectos más relevantes a nivel de minería subterránea es el control de gases generados en interior mina, a lo cual se tienen sistemas de control como el caso de la ventilación, la cual corresponde a la manera por la cual se desarrollan las labores asumiendo específicas condiciones de trabajo, como es el caso de la variabilidad de la presión, temperatura, flujo del aire, composición de la misma, etc.

Por otro lado, el reconocimiento de las labores mineras para con su entorno se da por la capacidad de producción, la cual también se asocia con el uso de los recursos presentes, así como con el potencial de generar ideas de ingeniería en muchos casos de momento, lo cual permite un crecimiento en términos de calidad y economía para las compañías mineras; uno de los recursos que se tiene a disposición es el sistema energético, basado en la distribución de energía eléctrica, propiamente generada a nivel de la organización, así como la proveniente de los servicios básicos y concesionados a nivel nacional, de modo que una optimización de su uso genera escenarios de productividad, a lo cual también se asocia el empleo de la tecnología, la cual se asocia en el presente tiempo con el empleo de las redes automatizadas, en tal sentido se plantea como objetivo de la presente el determinar cómo la automatización del sistema de ventilación (SCADA) relacionado al control de gases presentes en interior mina influye en la óptima distribución de energía eléctrica de la Compañía Minera Raura S.A., 2019, considerando a un sistema que genere un escenario de automatización de fácil uso y/o comprensión: el sistema SCADA.

Complementariamente, en el capítulo I se observa a la caracterización o planteamiento del problema, el cual se asocia con la necesidad de optar por un escenario de brindar calidad de vida a los trabajadores de interior mina mediante el control adecuado de los gases presentes en dichos ambientes confinados, además de consolidar a los objetivos e hipótesis de investigación, sumando la importancia y las justificaciones por las cuales se ha desarrollado la presente investigación. También se presenta la operacionalización de las variables de estudio, en las cuales se observa a indicadores de categorías por variable que han sido analizadas en la tesis.

En el segundo capítulo se exponen a los antecedentes de la investigación, cotejados de artículos científicos, tesis y artículos de divulgación; también se observa a los fundamentos teóricos y metodológicos, complementados por la definición de términos que ayudan a entender a lo descrito en la sección y a lo largo de la tesis.

En el tercer capítulo se observa a la metodología de la investigación, donde se sustenta el empleo del método científico a lo largo de la investigación, así como el diseño de análisis de las variables propuesto, el cual es el no experimental de corte transversal, además de optar por un escenario de comparación y explicación de la relación de las variables en estudio para así generar conocimientos y un aporte científico adecuado.

Finalmente, en el capítulo IV se exponen los resultados de la investigación, lo cual describe y analiza el propósito del sistema SCADA en relación a su filosofía de funcionabilidad, llegando así a la siguiente conclusión de la tesis: la automatización del sistema de ventilación mediante el soporte SCADA, relacionado al control de gases presentes en interior mina, influye en la óptima distribución de energía eléctrica de la Compañía Minera Raura S.A., 2019, ya que favorece al control adecuado de los parámetros eléctricos: voltaje ($\mu_v = 0.087$), corriente ($\mu_c = 0.069$) y frecuencia ($\mu_f = 0.172$) asociados a la potencia distribuida (kW), así como se relaciona positiva y moderadamente con el control adecuado de las condiciones de operación del sistema de ventilación (temperatura y vibración del motor de los ventiladores), además de generar interfaces de control a distancia y en tiempo real, lo cual permite escenarios de menos interrupciones en las actividad en interior mina.

El autor.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Planteamiento del problema

La minería a nivel mundial refleja una importancia por la extracción de materia prima necesaria para la producción de materiales, equipos y tecnología de modo que el ser humano alcance su desarrollo, sin embargo, ésta tiende por ser una labor que cobra una cantidad de vidas considerable ¹ por el alto riesgo que refleja la mencionada acción de explotación ya sea subterránea o a tajo abierto, cada una con características específicas.

FECHA	LUGAR	MUERTES Y HERIDOS	FUENTE
14-07-1977	Mina Industrial Hullera, municipio de Amagá	86 Muertos	El mundo, 18 Junio de 2010
03-02-2007	Minas San Roque y La Preciosa, Norte de Santander	32 Muertos	El Pais, 05 febrero de 2007
16-06-2010	Mina San Joaquín, municipio de Amagá	73 Muertos	El Mundo, 18 Junio de 2010
17-06-2012	Mina de Carbón, Sutatausa, Cundinamarca	3 Muertos	El Colombiano, 17 de junio de 2012
01-09-2012	Mina Xiaojiawan, Sichuan, China	43 Muertos	El Universal, 01 de Septiembre de 2012

Figura 01. Cuadro que resumen accidentes laborales y pérdidas del recurso humano a nivel de interior mina en Colombia y China.

Fuente: Restrepo, Ríos y Jiménez ¹.

Las empresas que alcance las concesiones de explotación deberían de garantizar mecanismos de seguridad interior mina, relacionando en dicho aspecto a la detección de atmósferas, emisiones o simplemente gases peligrosos, de modo que se tienda por evitar pérdidas humanas fatales, así como materiales o daños sociales que representen una gran merma a nivel de productividad. Dicho control a nivel de seguridad tiende por ser automatizado y también suele darse de manera manual, ya sea por la detección de gases o por la contención de posibles escenarios de explosión¹.

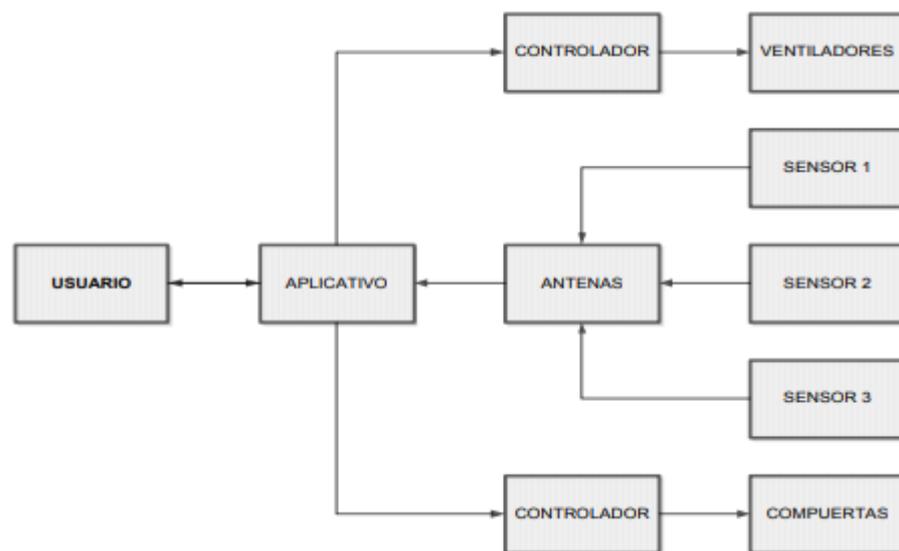


Figura 02. Esquema de control de sistemas de monitoreo de gases automatizado (ventiladores y sensores).

Fuente: Restrepo, Ríos y Jiménez¹.

La ventilación en escenarios de explotación minera subterránea se asocia con el alcance de los siguientes objetivos²: 1) suministrar oxígeno para garantizar la respiración de los trabajadores, 2) proporcionar de aire para los equipos y las instalaciones subterráneas, 3) prevenir la formación de mezclas que generen explosiones, 4) extraer gases tóxicos y el material particulado en suspensión, 5) reducción de la temperatura. La composición del aire a nivel de minería tiende por presentarse, más frecuentemente, de la siguiente manera: a) oxígeno: 20.76 %, b) nitrógeno: 79.16 % y c) anhídrido carbónico: 0.08 %³.

Según Positiva Seguros ³ “la ventilación de una mina consiste en el proceso de hacer pasar un flujo de aire considerable y necesario para crear condiciones óptimas para que los trabajadores se encuentren en una atmósfera agradable, limpia y sin gases”. Complementariamente, a nivel de minería subterránea se considera a la ventilación como un proceso de vital importancia en beneficio de los trabajadores, de modo que se asegure productividad ⁴. Así también, se considera que, a la par del avance de la normativa respecto del cuidado del ambiente y la salud de los trabajadores será necesario recurrir a tecnologías avanzadas, que se asocia con la incorporación de la automatización y teleoperaciones de los sistemas de ventilación ⁴. Textualmente se señala que: “la adaptación a cambios tecnológicos, que muchas veces son motivados por la reducción de costos de los sistemas de explotación, varían sustancialmente los requerimientos de ventilación” principalmente en ambientes donde la explotación de recursos se da de manera intensiva con el empleo de maquinaria de gran volumen ⁴, evidenciando la necesidad de conocer realmente si los sistemas de ventilación automatizados generan en sí un aspecto favorable en términos económicos a las empresas.

Según el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN) ⁵ la energía eléctrica, propiamente en términos de suministro, es más que necesaria para el desarrollo de procesos industriales, de modo que impulse al crecimiento económico, así como favorezca a la calidad de vida de la población beneficiaria. También afirma que existen enfoques innovadores dirigidos a generar escenarios de suficiencia en la generación eléctrica vía mercados competitivos, además de fomentar la inversión privada orientada en la ejecución de infraestructuras eléctricas, así como fomentar el desarrollo de una regulación que promueva la eficiencia económica en los sectores sujetos a condiciones de monopolio natural, como es el caso de transmisión y distribución de energía eléctrica, siempre teniendo en cuenta factores ligados a la supervisión del cumplimiento de las normas de seguridad industrial, de salud e higiene laboral y de ambiente aplicables al sector, observando así que el esfuerzo de haber implementado el sistema de automatización (SCADA) genera un escenario de mejora respecto del consumo de energía eléctrica por su control adecuado.

1.1.2. Formulación del problema

A) Problema general

¿Cómo la automatización del sistema de ventilación (SCADA) relacionado al control de gases presentes en interior mina influye en la óptima distribución de energía eléctrica de la Compañía Minera Raura S.A., 2019?

B) Problemas específicos

- ¿Cuál es la relación de la automatización, realizada con SCADA, con los parámetros de control del sistema de ventilación relacionado al control de gases presentes en interior mina de la Compañía Minera Raura S.A., 2019?
- ¿Cuál es la relación de la automatización, realizada con SCADA, con los parámetros eléctricos (voltaje, corriente y frecuencia) relacionado al sistema de ventilación relacionado al control de gases presentes en interior mina de la Compañía Minera Raura S.A., 2019?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Determinar cómo la automatización del sistema de ventilación (SCADA) relacionado al control de gases presentes en interior mina influye en la óptima distribución de energía eléctrica de la Compañía Minera Raura S.A., 2019.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar la relación entre la automatización, realizada con SCADA, y los parámetros de control del sistema de ventilación relacionado al control de gases presentes en interior mina de la Compañía Minera Raura S.A., 2019.
- Determinar la relación de la automatización, realizada con SCADA, y los parámetros eléctricos (voltaje, corriente y frecuencia) asociados al sistema de ventilación relacionado al control de gases presentes en interior mina de la Compañía Minera Raura S.A., 2019.

1.3. Justificación e importancia

1.3.1. Justificación práctica

La justificación en la práctica de la tesis se enfoca en el desarrollo y hallazgo de conocimientos relacionados con la optimización del uso de la energía eléctrica orientado en su control mediante el uso de las tecnologías de automatización asociada a la informática, es decir, sacar un provecho adecuado para generar escenarios de productividad acorde a la exigencia del mercado internacional al propiamente alcanzar consumos de energía eléctrica adecuados, respetando la calidad de vida de los trabajadores así como reduciendo emisiones de gases de efecto invernadero asociado a huellas de carbono.

1.3.2. Justificación académica

En lo académico, la presente se justifica por el alcance de conocimientos asociados con la validación de la relación de las variables en estudio, es decir, asociando a la optimización de la distribución de energía eléctrica, por tanto, controlando adecuadamente parámetros de la potencia de la energía eléctrica, con la automatización con el soporte SCADA a nivel de interior mina para con el proceso de ventilación, de modo que no solamente se vea a dicho entorno como de sistemas propiamente, sino alcanzando aportes asociados con la reducción del consumo de energía eléctrica, así como generando productividad en la empresa.

1.3.3. Justificación social

La presente se justifica socialmente por alcanzar aportes en el respeto de la calidad de vida de los trabajadores (control de gases en interior mina mediante la ventilación automatizada), así como la generación de menos emisiones de gases de efecto invernadero al controlar adecuadamente el régimen eléctrico mediante su automatización con el programa SCADA.

1.3.4. Importancia

El sistema de ventilación, respecto de su relevancia en situaciones de labores en espacios confinados, como es el caso de labores en interior mina, cobra relevancia por entornos de seguridad y salud en el trabajo, así como asociado a la productividad de la organización. Además, la optimización del uso de energía eléctrica mediante la aplicación de entornos de modernidad y tecnología automatizada, favorece a la obtención de valores agregados y productividad a las empresas, en especial cuando dicho entorno tiende por ser superlativo a nivel de minería, observando de dicha manera el aporte que se tiene al relacionar al sistema de automatización de la ventilación con SCADA con la optimización del uso de energía eléctrica.

1.4. Hipótesis y variables

1.4.1. Hipótesis de investigación

H_1 : La automatización del sistema de ventilación (SCADA) relacionado al control de gases presentes en interior mina influye en la óptima distribución de energía eléctrica de la Compañía Minera Raura S.A., 2019 puesto que aporta en el control adecuado de los parámetros eléctricos de control del sistema de ventilación ($\mu_v = \mu_c = \mu_t$).

1.4.2. Hipótesis específicas

- H_0 : Existe una relación positiva y significativa entre la automatización, realizada con SCADA, y los parámetros de control del sistema de ventilación relacionado al control de gases presentes en interior mina de la Compañía Minera Raura S.A., 2019.
- H_1 : No existe una relación positiva y significativa entre la automatización, realizada con SCADA, y los parámetros de control del sistema de ventilación relacionado al control de gases presentes en interior mina de la Compañía Minera Raura S.A., 2019
- H_0 : Existe una relación positiva y significativa entre la automatización, realizada con SCADA, y los parámetros eléctricos (voltaje, corriente y frecuencia) relacionados al sistema de ventilación relacionado al control de gases presentes en interior mina de la Compañía Minera Raura S.A., 2019.
- H_1 : No existe una relación positiva y significativa entre la automatización, realizada con SCADA, y los parámetros eléctricos (voltaje, corriente y frecuencia) relacionados al sistema de ventilación relacionado al control de gases presentes en interior mina de la Compañía Minera Raura S.A., 2019.

1.4.3. Operacionalización de las variables

Tabla 01. Descripción y operacionalización de las variables de estudio.

Variables	Tipo	Concepto	Categorías	Indicadores
X = Automatización del sistema de ventilación con SCADA.	Independiente	Consiste en la programación de las actividades y procesos industriales mediante la aplicación de interfaces sumadas al control de operadores humanos de modo que se asegure un escenario	Parámetros de control del sistema de ventilación con SCADA	X ₁ = T° del motor X ₂ = Vibraciones X ₃ = Velocidad viento

		de productividad laboral (seguridad) en interior mina, además de asegurar eficiencia energética.	
Y = Mejora del control de la distribución de energía eléctrica.	Dependiente	Escenario de mejora de los procesos de distribución de energía eléctrica mediante la aplicación de un sistema automatizado (SCADA).	Y ₁ = Voltaje (V) Y ₂ = Corriente (A) Y ₃ = Frecuencia (Hz)

Fuente: elaboración propia.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes encontrados en artículos científicos

En el artículo científico titulado: “Automatización de la red de 34.5 kV en la provincia de Villa Clara”, se planteó como objetivo: “implementar de la automatización de las redes de 34.5 kV en Villa Clara con la finalidad de operar dicha red de la forma más eficiente posible, suministrando energía eléctrica a los clientes con mínimos costos de operación al más alto nivel de confiabilidad, así como considerando una disminución de la frecuencia de interrupciones y tiempos”. En sus resultados presenta como método aplicado al de restauradores, donde se realizaron propiamente aperturas y cierres en diferentes puntos analizados alcanzando variaciones de 34.53 kV A 34.34 kV, manteniéndose en lo mínimo permitido, pero siendo más eficiente respecto de la tensión del flujo de energía. Para el caso de la frecuencia asociada a las máquinas instaladas, pasó de ser 59.98 Hz a 60.05 Hz, donde la oscilación no se observa como significativa al mantenerse por dentro de sus parámetros. La automatización trajo como resultante la sustitución de desconectivos por restauradores, de modo que la secuencia en sentido de automatización forme un lazo que permita ejecutar en forma automática la transferencia de energía. Se concluye que la automatización alcanzada a 34.5 kV se asocia con una mejor operatividad del sistema denominado como electroenergético en Villa

Clara, así como dicho entorno favorecerá a la reducción de tiempos de interrupciones, de modo que se asocie con el alcance de estándares internacionales en términos de eficiencia energética. Puntualmente también se concluye que: “la automatización debe ir aparejada con una reconfiguración de los circuitos” ⁶.

En el artículo científico titulado: “Caracterización de sistemas de ventilación en minería subterránea”, se planteó como objetivo: “realizar la caracterización del sistema de ventilación de una mina subterránea en especial bajo aquellos títulos donde se tratan los temas de ventilación y temperaturas, vitales para asegurar el confort de las personas al interior de la explotación”. Llega a los resultados que la caracterización de los ventiladores u obtención de las curvas características es un procedimiento indispensable para conocer el comportamiento del ventilador al variar algunos de sus parámetros (ángulo de paletas, velocidades de motor, etc.), además que la presión es el otro factor importante a tener en cuenta, debido del comportamiento de los fluidos al interior de la mina, lo cual deberá considerar el sistema de ventilación implementado. Otro resultado y recomendación que consideran es que Se debe asegurar que los equipos de medida estén correctamente calibrados o que no existen objetos extraños que interrumpan la medida, por ejemplo, para la lectura de presión en los manómetros, se debe asegurar que no existan burbujas de aire dentro de los tubos, esto genera lecturas falsas. Como conclusiones reportan que Para caracterizar un sistema de ventilación es necesario conocer las características del circuito, es decir distribución de caudales, requerimientos, áreas, perímetros, longitudes, entre otros, para así determinar la resistencia de la mina, además de que Es necesario establecer los requerimientos de aire para la explotación minera de acuerdo al personal en la mina, la dilución de gases tanto metano propio de la explotación como los generados por voladura y el control de polvo; finalmente se considera que se deben mantener las vías de ventilación bajo constante mantenimiento y libre de obstáculos que puedan generarle resistencia al caudal de aire que circula en la mina ⁷.

En el artículo científico titulado: “Los sistemas SCADA en la automatización industrial” planteó como objetivo el enfocarse en la importancia de los sistemas de supervisión, control y adquisición de datos asociados a la automatización de procesos industriales, para el caso del soporte SCADA, el cual tiende por ser usado de manera intensiva en la manufactura industrial actual. Como principal resultado asociado a las prestaciones del soporte SCADA, considera al mismo como una herramienta de interfaz hombre-máquina, donde se puedan crear paneles denominados como de alarma, para así generar datos históricos sobre el control de procesos mediante la programación numérica asociada a cálculos aritméticos, lo cual siempre debe ser lo más fácil de entender y de comunicar, de modo que no represente una carga extra a las labores asignadas en planta. En conclusión, llega a que el ser humano se oriente a tareas que requieran de razonamiento y ya no a tareas repetitivas a consecuencia de la implementación de sistemas automatizados, los cuales sean fáciles de supervisar. Así también, considera que el SCADA influye significativa y positivamente en la salud y seguridad ocupacional a través de los procesos, de modo que la tecnología aporte en el aseguramiento de la calidad de vida de los trabajadores ⁸.

En el artículo titulado “Detección y control de atmósferas explosivas en minas subterráneas de carbón usando programación estructurada”, se planteó como objetivo general el presentar una alternativa de solución propuesta al problema que representa detectar y controlar el ambiente al interior de mina de carbón subterránea para la comunidad minera internacional. Considera dentro de sus resultados al siguiente diagrama:



Figura 03. Diagrama general del monitoreo de atmósferas en espacios confinados.

Fuente: Restrepo et. al. ¹.

Lo cual refleja que la obtención de datos es necesario para determinar el potencial de que exista una explosión o el riesgo de que exista la presencia de altas concentraciones de gases, de modo que los sistemas de automatización en son de control deberán de incidir primeramente en la determinación de dichos datos, de modo que viendo la posibilidad del riesgo se opte por tomar decisiones adecuadas. Si los programas automatizados presentan en su lectura el riesgo de explosión, activarán automáticamente el sistema de ventilación, de modo que el nivel de energía permanezca constante en relación a la explotación subterránea asociada a la presencia de dichas emisiones. Se concluye que es técnicamente imposible predecir eventos o sucesos accidentales, pero es posible controlar las variables que generan dichos sucesos mediante monitoreos continuos que garanticen la seguridad laboral; la automatización tiende por ser eficiente para los siguientes gases: metano (CH₄), monóxido de carbono (CO), hidrógeno (H) y oxígeno (O) ¹.

En el artículo titulado: “Desarrollo libre de sistemas SCADA”, se planteó como objetivo general analizar al desarrollo de las alternativas de programación en materia de sistemas inteligentes de control que sean muy exigentes, generando entornos normalizados que permitan generar productividad. En sus resultados presenta que se tiene una arquitectura de software simple, empleado archivos y secuencias multitarea empleando una base de datos en tiempo real, denominado como entorno RTDB que emplea a su vez uno o varios servidores. Es importante saber sobre el almacenamiento del ambiente de desarrollo a nivel de SCADA, ya que de aquello depende el importar y exportar datos; a todo aquello se denomina como herramienta de desarrollo. Así también, para obtener una matriz fiable de data, los prototipos de unidades maestras y remotas de transmisión deberán emplear un lenguaje de simple entendimiento y de fácil programación. Concluye finalmente que aún se mantienen retos a mejorar por parte de los sistemas SCADA, como es el caso de: interconectar sistemas abiertos automáticamente, integrar al sistema a plataformas preexistentes (que favorece a la red de distribución eléctrica principal), liberación de protocolos y códigos de patente de modo que se intensifique su uso libre y superar las tendencias de desarrollo actual ⁹.

En el artículo científico titulado “Implementación de un sistema SCADA para la automatización de un laboratorio de biotecnología a nivel de seguridad biológica nivel 3”, se planteó como objetivo general el presentar resultados de la mencionada implementación propiamente asociada al control de microorganismos. En dichos resultados considera que la implementación repercute en un análisis de variables y/o factores que permitan seleccionar las herramientas de programación adecuada en relación de la arquitectura de configuración necesaria para el sistema, de modo que se potencie y genere escenarios de productividad a nivel de la organización. Se logró identificar a los sistemas integrados que son necesarios para asegurar el control de agentes físicos, químicos y biológicos, los cuales son: a) el control de presiones y el sistema de ventilación, b) sistemas de ingreso y egreso propiamente del personal, c) sistema de monitoreo y de alarma de los sistemas de los grupos electrógenos, d) sistema de descontaminación de subproductos, e) identificación de las salidas de emergencia, y f) el control del proceso de generación del potencial contaminante. Concluyen finalmente que el aplicar tecnología en ambientes donde se practiquen labores de alto riesgo es más que necesario y potencia la productividad de la organización; es más que necesario instaurar procedimientos de integración, supervisión y control de todos los sistemas en un cuarto de control debidamente implementado, además de que el personal a cargo del sistema de automatización es el encargado de supervisar las operaciones del área y por tanto deberá ser entrenado para así generar el aporte indirecto y social en competencias asociado a términos de productividad energética ¹⁰.

2.1.2. Antecedentes encontrados en tesis

En la tesis titulada: “Sistemas SCADA en distribución de energía eléctrica”, se planteó como objetivo: “poner a disposición de las Empresas Eléctricas y de sus usuarios, una herramienta moderna de control que permita optimizar sus recursos técnicos y mejorar sus ingresos económicos”. Presenta en sus conclusiones ¹¹:

- “La aplicación del sistema SCADA a un sistema de distribuciones conveniente económicamente para empresas eléctricas”.
- “Se debe mejorar la confiabilidad de dicho sistema, es decir brindar una mejor calidad en el servicio”.
- “El sistema SCADA, brinda al operador una información amplia y casi instantánea del estado de la red y le permite operar sobre la misma de una manera segura y rápida”.
- “Las unidades terminales remotas deben tener una configuración modular, para simplificar sus posibilidades de expansión”.
- “La operación automática permite un tiempo mucho menor para la reposición del servicio, que el sistema manual que actualmente se emplea, influyendo mucho esta ventaja en la imagen de la empresa”.

En la tesis titulada: “Diseño e implementación de un sistema piloto para la automatización de alimentadores de la red de distribución de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A.”, en la que se planteó como objetivo: “verificar en forma práctica y segura el desempeño de la inteligencia FLISR asociada al SCADA, exponiéndola a todos los escenarios de falla posibles”. Se concluye en lo siguiente ¹².

- “La distribución mantiene un ritmo continuo de crecimiento, con inversiones casi fijas principalmente para la mejora de la eficiencia de las empresas de distribución y el incremento del área de cobertura”.
- “A futuro se realizará una fuerte inversión para incrementar la oferta de generación eléctrica. Así mismo, las energías renovables y la eficiencia energética tendrán un impulso considerable en los siguientes años”.
- “La implantación de un sistema piloto para la automatización de alimentadores, el cual se enmarca dentro del enfoque actual del sector eléctrico que persigue la dotación de herramientas físicas y tecnológicas con las cuales la distribución evidencie un incremento en la eficiencia y eficacia. Evidentemente se espera un impacto directo sobre los indicadores mencionado”.

En la tesis titulada “Optimización y modelización del circuito de ventilación de una mina subterránea”, se planteó como objetivo general: “parametrizar una explotación subterránea con el fin de modelizar esta y así poder adaptar su circuito de ventilación a nuevas condiciones que se puedan llegar a dar de una forma eficiente”. En sus conclusiones considera ¹³:

- Un ventilador de mayor capacidad respecto de su presión refleja la necesidad de aumentar las resistencias de dicho componente, de modo que pueda soportar un caudal de flujo mayor.
- El caudal evidencia el requerimiento de una mayor potencia en términos de energía, de modo que, si se tiene una mayor presión en el espacio confinado, se requerirá de una mayor energía eléctrica en términos de consumo respecto de la ventilación.
- El uso de ventiladores secundarios supondrá un coste extra a la inversión que puede ser considerado como innecesario asumiendo también un diseño independiente al ramal, ya que con un ventilador consistente se tiende por cumplir las especificaciones.

En la tesis titulada: “Diseño e implementación de un sistema piloto para la automatización de alimentadores de la red de distribución de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A.”, se planteó como objetivo general diseñar e implementar un sistema piloto que permita automatizar a los alimentadores de red de distribución de la empresa en mención, de modo que se alcancen escenario de menor consumo en términos de distribución de data y energía. Llega a las siguientes conclusiones ¹⁴:

- El centro de desarrollo se concentra en la generación de energía, asociado a la expansión de la infraestructura, lo que evidencia en términos de igualdad que se asocia al crecimiento en términos de explotación minera al desarrollo y crecimiento de la organización en son de productividad, lo cual se asocia directamente con el uso de tecnologías que permitan agilizar la toma de decisiones y ahorrar costes innecesarios.
- La construcción de nuevas centrales hidroeléctricas ayuda a cubrir nuevas necesidades de demanda, sin embargo, el uso racional y óptimo de energía eléctrica se torna como un método sostenible de

emplear, no solo en términos de ahorro de costes, sino también como valor agregado para la investigación.

- El porcentaje que se tiende por ahorrar en términos de automatización de los sistemas de distribución debería ser considerado como un aspecto de calidad de los procesos o servicios, de modo que se aseguren entornos de eficacia y eficiencia, así como de productividad.

En la tesis titulada “Diseño de un sistema SCADA de control automático de temperatura y humedad para los lechos de producción de humus de lombriz en la empresa Bioagrotecsa Cía. Ltda”, se planteó como objetivo general diseñar un sistema de control automática de la temperatura y humedad mediante el soporte SCADA para le empresa en mención, llegando a las siguientes conclusiones ¹⁵:

- Existen necesidades por tecnificar procesos de control donde los riesgos laborales se hagan muy significativos o el entorno de trabajo humano tienda por ser inaccesible.
- Los detectores que emplea el sistema SCADA (sensores) son de bajo costo, de modo que es posible replicar su uso intensivo a nivel del macroproceso.
- El lenguaje de programación empleado en el SCADA es de fácil entendimiento o de nivel básico, lo cual repercute en la productividad laboral.
- Los sistemas SCADA garantizan rapidez, flexibilidad y confiabilidad en el procesamiento de la información que se obtiene de los procesos productivos.
- El sistema SCADA aporta en términos de costo-beneficio para las empresas.

En la tesis titulada “Sistema SCADA basado en un ambiente de programación Open Source”, se planteó el objetivo de “desarrollar un sistema de adquisición, control y supervisión de datos para una plataforma industrial basada en un ambiente de programación Open Source”, llegando a las siguientes conclusiones ¹⁶:

- El sistema SCADA no se relaciona con el ambiente de programación Open Source, debido a que el sistema tiende por ser de fácil entendimiento, mientras que el lenguaje de programación requiere de soporte técnico especializado.
- Sin embargo, el soporte de Open Source aporta en la variabilidad del sistema SCADA para aplicarla a diversos ámbitos debido a su versatilidad, principalmente por generar interfaces de usuario variada, obviando así su limitación.

En la tesis titulada “Diseño e implementación de un sistema SCADA para una estación multivariable didáctica”, se formuló el siguiente objetivo: “diseñar e implementar un sistema SCADA para una estación de didáctica que es considerada como multivariable”, llegando a las siguientes conclusiones ¹⁷:

- A la hora de trabajar en proyectos de esta magnitud, es necesario contar con un buen equipo de asesores en diferentes campos tecnológicos, ya que las dudas y los inconvenientes que surgen son muchos.
- En el campo de los equipos de instrumentación existen muchas marcas, por esto es necesario realizar cálculos para determinar la capacidad del equipo que se requiere.
- Se debe tener buenos fundamentos en tecnologías como el diseño industrial, la programación, la mecánica, la electricidad y electrónica, Instrumentación y control industrial, sistemas SCADA, ya que proyectos de este tipo requieren habilidades en varios campos y programas como Ingeniería Mecatrónica nos permiten desarrollar estas competencias.
- Este tipo de proyectos permite incluir sistemas de monitoreo y control como los Software SCADA, permitiendo demostrar cómo esta tecnología se puede incorporar en cualquier aplicación industriales,

2.1.3. Antecedentes encontrados en artículos de divulgación

En el artículo titulado “Diseño e implementación de un sistema SCADA y sincronismo de una planta de generación eléctrica con tres motores MTU de 1.2 MW en el distrito Amazónico”, se planteó como objetivo diseñar e implementar a modo de ingeniería básica y de detalle un sistema de control de tres grupos electrógenos considerando su automatización y sincronización con el método SCADA. En sus resultados menciona que para la automatización del sistema es necesario considerar: controles lógicos que sean de fácil programación, administradores energéticos, canales de comunicación que guarden la capacidad adecuada (servidor) y la consideración de puertos de salida y entrada en correspondencia a los sensores implementados. La arquitectura de la programación se constituye en paralelo para cada generador, considerando la siguiente ramificación: 1) monitoreo a través de sensores, 2) programación de alarmas con parámetros específicos, y 3) generadores de data histórica; el factor que comparte la red para generar un solo canal de comunicación de alerta es la alarma central, a lo cual se debe aplicar la configuración específica de cada generador. La sincronización del sistema considera una misma revolución respecto de los sistemas de ventilación de los grupos electrógenos, además de una misma carga a nivel de voltaje, de modo que el flujo de energía sea uniforme. Concluyen que para cargas de 480 V es recomendable un administrador energético Easygen 3200 y un controlador de programación Micrologix 1100, lo cual permite eficiente equiparar el voltaje, la frecuencia y ángulo de fase para garantizar el sincronismo. Además, se considera que dichos controladores aseguran la versatilidad de la administración eficiente de la energía. Se cita también que con el sistema de automatización implementado se logra aumentar la eficiencia en el funcionamiento del generador y se disminuyen los posibles errores de manipulación por la operación humana ¹⁸.

En el artículo titulado “Automatización de la red de 34.5 kV en la provincia de Villa Clara” se planteó el objetivo de implementar dicha autonomía de la red en la localidad en mención con el propósito de que sea la más eficiente posible respecto del suministro de energía, reduciendo costos de operación, disminuyendo la frecuencia de interrupciones y generando confiabilidad en los usuarios. Los parámetros que requieren de un

monitoreo adecuado de las variables eléctricas abarcan a la tensión (34.53 – 34.34 kV), la corriente por las líneas, la potencia (0.98 – 5.95 MW), oscilaciones de frecuencia (59.983 Hz – 60.005 Hz). Concluye que las variables anteriormente mostradas traen consigo una mejor operatividad del sistema electroenergético, además de que reducirá el tiempo de interrupción al usuario. El factor complementario para asegurar un escenario de automatización es la configuración del sistema de control ¹⁹.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Fundamentos teóricos de la investigación

- Sistema SCADA:

El nombre de SCADA corresponde a la abreviatura de “Supervisory Control And Data Acquisition”, es decir: adquisición de datos y supervisión de control. Un SCADA es un software de aplicación especialmente diseñado para funcionar sobre ordenadores de producción, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo (controladores autónomos, autómatas programables, etc.) y controlando el proceso de forma automática desde la pantalla del ordenador. Además, provee de toda la información que se genera en el proceso productivo a diversos usuarios: control de calidad, supervisión, mantenimiento, etc. ²⁰.

Las topologías de comunicación SCADA varían entre implementaciones. Las diversas topologías utilizadas, incluyendo punto a punto, serie, serie-estrella y multi-punto. El sistema punto a punto es el más simple, sin embargo, sus canales de comunicación tienden por requerir un coste alto. El intercambio de canales tiene un impacto en la eficiencia y complejidad de las operaciones de SCADA, evidenciando que un sistema de configuración en serie y de multi-punto resulta en obtener una menor eficiencia, pero una mayor complejidad del sistema ²¹.

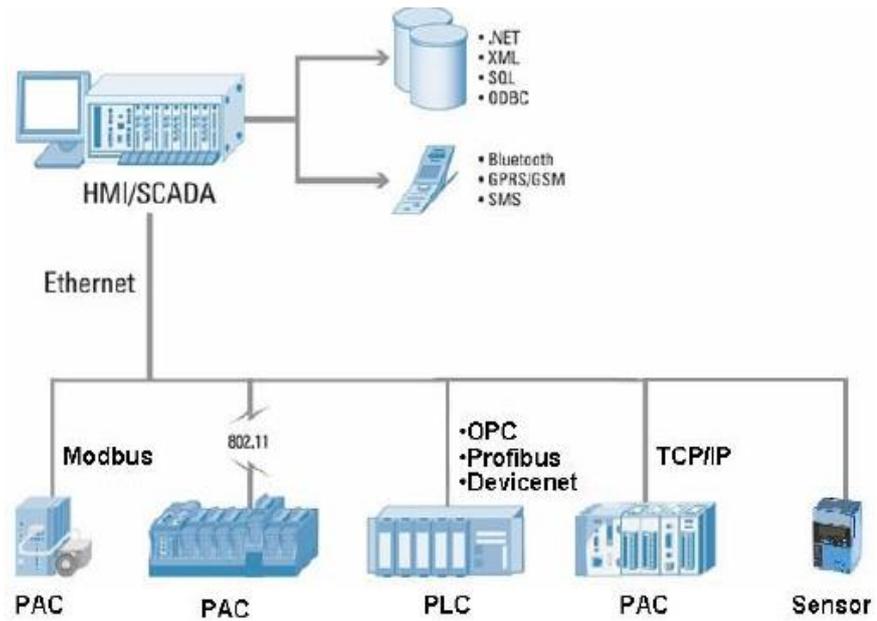


Figura 04. Ejemplo de un esquema del sistema SCADA.

Fuente: Romero ²¹.

Un SCADA constará de una ventana de edición, desde la cual se va realizando la programación de todas las ventanas de la aplicación con todos sus condicionantes, y del programa de RUNTIME que hace “correr” la aplicación en comunicación con los distintos dispositivos de campo ²⁰. Consta de una ventana denominada de edición, la cual configura una serie de botones y menús de acceso directo, la cual a su vez está dividida según lo mostrado en la tabla siguiente.

- **Controladores Lógicos Programables:**

Son dispositivos presentados en estado sólido que se basan en unidades informáticas que controlan equipos y procesos industriales. Éstos son controlados con microprocesadores que leen el ingreso de la alerta de sensores, ejecutando así instrucciones programadas, creando de tal modo salidas que ejecutan la activación y desactivación de los actuadores. Para la programación del sistema existen cinco lenguajes de programación ²¹:

- Diagrama del bloque de la función (FBD).
- Diagrama de escala (LD).
- Texto estructurado (St).
- Lista de la instrucción (IL).
- Tabla secuencial de la función (SFC).

Tabla 02. *Componentes de la ventana de edición del SCADA.*

Ventana de edición	Barra de menús despegable.
	Berra de control general de herramientas.
	Barra de iconos de formato.
	Barra de herramientas de dibujo.
	Zona de explorador de la aplicación.
	Pantalla de dibujo y animación.
	Barra de tratamiento de objetos agrupados.
	Barra de estado.

Fuente: Rodríguez ²⁰.

Todos los soportes SCADA incorporan una herramienta de dibujo, mediante la cual se puede dibujar cualquier objeto. Estos objetos, mediante las barras de herramientas, se podrán modificar, cambiar tamaño, color, grosor de líneas, textos, etc., a voluntad. Se podrán agrupar, alinear, colocar delante, etc., y una vez dibujados y configurados, guardarlos para su posterior utilización todas las veces que se desee; la barra de herramientas deberá siempre incluir las siguientes variables topológicas (ver siguiente tabla):

Tabla 03. *Herramientas del sistema SCADA.*

• Asistentes (Wizards).
• Etiquetas (TAG).
• Enlaces de animación.
• Alarmas.
• Gráficas de tendencia.
• Panel de comunicaciones (DDE).

Fuente: Rodríguez ²⁰.

- Interfaces Humano Máquina (HMI):

Si bien los sistemas SCADA ofrecen una interfaz gráfica PC – Operario tipo HMI, éstos comprenden a sinópticos de control y los sistemas de presentación gráfica. Dicha plataforma HMI se define como un panel a través del cual el operador es capaz de controlar la maquinaria y ver diferentes procesos en una planta o el soporte de dichos procesos de manera secuencial. El principio de funcionamiento de dicha plataforma sinóptica es de tipo estático, aunque en los últimos años se opta por preferir un escenario flexible al cambio en los procesos ²¹.

- Unidad Terminal Remota (RTU):

Tiende por ser un dispositivo electrónico controlado por microprocesadores y está diseñado para entornos agresivos, es decir, diseñado para soportar cambios de temperatura, calor, vibración, campos electromagnéticos, etc. Dichas unidades se dispersan entre dispositivos/sensores y las estaciones de control ²¹.

- Dispositivos Electrónicos Inteligentes (DEI):

Es un dispositivo que incorpora uno o más procesadores que tienen la capacidad de recibir o enviar datos que aseguran el control de data entre los sensores y la central; éstos dispositivos son vitales para hablar en términos de automatización ²¹.

- Amenazas al sistema SCADA:

Los ataques que suele sufrir el sistema como entorno de automatización se basan más en peligros informáticos, aunque también se consideran otros físicos, los cuales se enlistan a continuación ²¹:

- Ataques dirigidos.
- Incidentes accidentales.
- Accesos y controles no autorizados.
- Código malicioso o no autorizado.
- Espionaje.
- Sabotaje.
- Vandalismo.
- Intrusión (crackers).
- Robo (electrónico).
- Troyanos.
- Bombas de tiempo.
- Puertas traseras.
- DOS.
- Falta de supervisión.
- Cambios lentos.
- Agujeros de autenticación.

Por otro lado, se tienen a las vulnerabilidades del sistema, las cuales engloban a ²¹:

- Disponibilidad.
 - Integridad.
 - Confidencialidad.
 - Autenticación obsoleta de programación.
 - Falta de firewalls.
 - Falta de capacitación al personal.
 - Falta de segmentación en la red del centro de control.
 - Equipos con tecnologías obsoletas.
 - Falta de auditoría.
- Sistemas de ventilación en interior mina:

La atmósfera de la mina debe tener una composición, temperatura, grado de humedad, entre otros, óptimos para desarrollar una labor con seguridad, salud y que se obtengan altos rendimientos de los

trabajadores ³. La composición del aire atmosférico representa un mayor volumen de nitrógeno (78 %), seguido por oxígeno (21 %) y otros gases (1 %), mientras que en espacios confinados existen mezclas que generan gases livianos (metano), ácido sulfúrico y gases pesados (dióxido de carbono) ³.

Tabla 04. *Clasificación de gases en interior mina.*

Gases asfixiantes	Producen la disminución de oxígeno en el aire, puesto que ocupan en la atmósfera un gran volumen de dispersión.
Gases tóxicos	Provocan una disminución de oxígeno, además de tener la potencialidad de penetrar en los pulmones y al resto del organismo.
Gases explosivos	Producen efectos nocivos, además de intoxicación, destrucción de tejidos, envenenamiento, alteración de órganos, además de que en presencia de un iniciador (chispa) provocan explosiones.

Fuente: Positiva ³.

IRRITANTES ASFIXIANTE	SOFOCANTES	EXPLOSIVOS INFLAMABLES
✓ Monóxido de Carbono	✓ Nitrógeno	✓ Metano
✓ Hidrógeno Sulfurado	✓ Anhídrido Carbónico	✓ Monóxido de Carbono
✓ Dióxido de Nitrógeno (Humos Nitrosos)	✓ Metano	✓ Hidrogeno Sulfurado
✓ Anhídrido Sulfuroso		

Figura 05. Cuadro de clasificación de gases presentes en interior mina.

Fuente: Vargas ².

El sistema de ventilación que tiene dos accesos, uno que funciona como entrada y el otro como salida del aire; se emplea en las labores mineras subterráneas, principalmente las localizadas en montañas, que se consigue por diferencia de cota, sin utilizar ninguna clase de equipo mecánico o eléctrico como ventiladores y extractores.

La única fuerza natural que puede crear y mantener un flujo apreciable de aire es la energía térmica, debido a la diferencia de temperatura y presión barométrica que genera una diferencia de peso específico entre el aire saliente y entrante. La ventilación natural depende de la diferencia de elevación entre la superficie y las labores mineras subterráneas; la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior de la labor (a mayor diferencia, mayor presión y por lo tanto es mayor el flujo) ³. La ventilación natural es variable, depende de la época del año, incluso en algunos casos, de la noche y el día. Se denomina así porque el aire que recorre las labores mineras no es forzado ni se utilizan equipos para que el aire entre a la excavación minera ³.



Figura 06. Sistemas de ventilación en minería.

Fuente: Positiva ³.

- Ventilación principal:

La ventilación en una mina subterránea es el proceso mediante el cual se hace circular por el interior de la misma el aire necesario para asegurar una atmósfera respirable y segura para el desarrollo de los trabajos. La ventilación se realiza estableciendo un circuito a través de todas las labores; de ese circuito se desprende la ventilación a los frentes de trabajo de la mina ³.

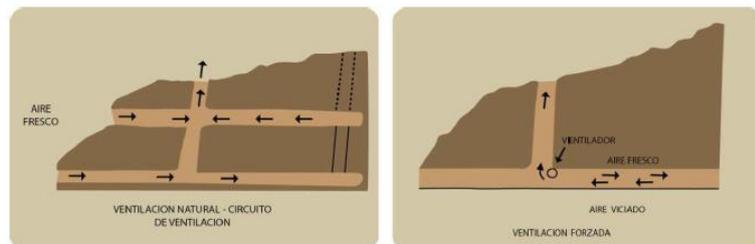


Figura 07. Diagramas de flujo de la ventilación principal: natural o forzada.

Fuente: Vargas ².

- Ventilación auxiliar:

Presión de ventilación que se establece como resultado de un efecto mecánico, en particular un ventilador, el cual suministra la energía de ventilación para el flujo de un volumen de aire. Para galerías horizontales de poca longitud y sección, lo conveniente es usar un sistema impelente de mediana o baja capacidad, dependiendo del equipo a utilizar en el desarrollo y de la localización de la alimentación y evacuación del aire del circuito general de ventilación de la zona ³. Como iniciativas de desarrollo de sistemas de ventilación auxiliar, se tiene:

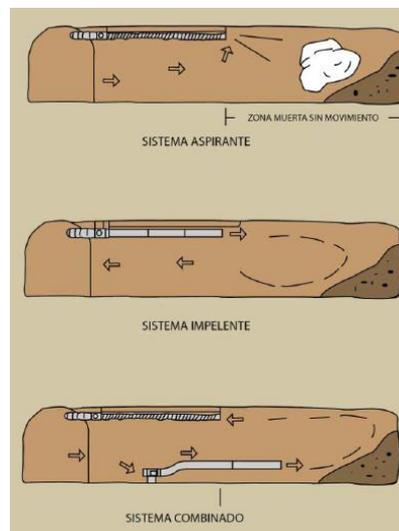


Figura 08. Sistemas de ventilación auxiliar.

Fuente: Vargas ².

- a) Sistema aspirante: el aire fresco ingresa por la galería y el contaminado es extraído por los ductos ³.
- b) Sistema combinado: Emplea dos tendidos de ductos, uno para extraer el aire y el otro para impulsar aire limpio el frente de avance ³.

- Consideraciones para la gestión de la ventilación en minería

La necesidad primordial para asegurar la efectividad del sistema de ventilación es la capacitación frente a las medidas de seguridad instauradas ³. A partir de dicho enfoque es necesario instaurar:

- Requerimientos generales del sistema de ventilación en interior mina.
 - Realización del estudio técnico para asegurar un sistema adecuado de ventilación.
 - Diseño del sistema de ventilación.
 - Identificar las consideraciones técnicas del polvo de carbón.
 - Identificar escenarios de dispersabilidad.
 - Identificar a las fuentes de ignición.
 - Identificar a los materiales volátiles.
- Medidas preventivas para la medición de gases:

Es necesario consolidar los siguientes parámetros:

- Calibración al día de los equipos sensores, además de que sus mediciones estén asociadas a alarmas que puedan advertir escenarios de peligro.
 - Medir la concentración de O₂, CO, CH₄, H₂S, CO₂ y gases nitrosos; donde el metano y monóxido de carbono se dan en las partes altas de excavación, mientras que el dióxido de carbono está presente en las partes bajas.
 - Medir la humedad en interior mina.
 - Medir la temperatura en interior mina.
 - Consolidar el potencial de explosividad del polvo carbón.
- Distribución de energía eléctrica

Según CIRCUTOR, ente regulador de la tecnología para la eficiencia energética ²² para considerar un esquema de distribución energética se debe considerar los siguientes parámetros:

- a) Calidad: que garantiza el buen funcionamiento de la distribución.
- b) Reactiva: en términos de compensación de energía eléctrica considerada como reactiva, la cual favorece a la eficiencia de las líneas de distribución.
- c) Medida/Gestión: dada por un sensor remoto o local que permita la supervisión.
- d) Telemida/Tarifación: permite el control a distancia entre usuarios y los puntos de distribución.
- e) Mantenimiento: previene averías graves, garantizando la continuidad del servicio.

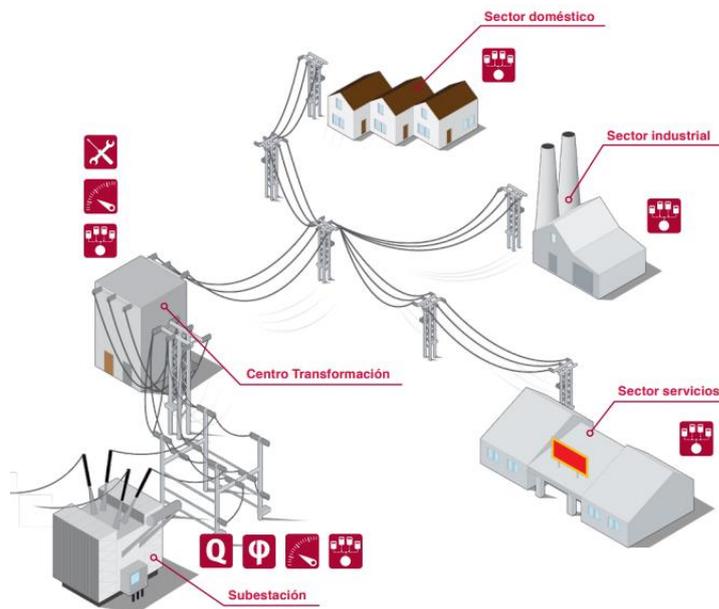


Figura 09. Esquema de una red de distribución de energía eléctrica.

Fuente: CIRCUTOR ²².

Para asegurar cada componente del esquema de distribución de energía, se prevé el uso de tecnología ²²:

- a) Calidad: analizador de calidad de suministro modular, registradores de calidad de energía, contador multifunción de grandes prestaciones, etc.
- b) Medida/Gestión: analizadores de redes de eléctricas trifásicas (equilibradas o no), pinzas de media tensión.

- c) Compensación de energía reactiva: condensadores trifásicos, baterías fijas o automáticas hasta 100 kV.
- d) Mantenimiento: analizadores de redes portátiles, medidores de tensión de paso y contacto, micro y mega ohmímetros, telurómetro, comprobador dieléctrico, comprobador de relés, control de inspección técnica en instalaciones.

Además, en capacidad de automatización se maneja Hardware y Software, como el caso de ²².

- a) PowerStudio Embedded 7000: autómeta energético.
- b) PowerStudio SCADA: software de gestión y control energético.
- c) PowerWatt: software para gestión de contadores CIRWATT.

Así también, se hace un énfasis ²² a que el soporte SCADA es un software potente, sencillo y de entorno amigable, la cual permite una completa supervisión energética de analizadores de redes, contadores, fugas a tierra y un complejo control de diferentes magnitudes en el campo del proceso industrial, además de que tiende por combinar equipos y sistemas que se adaptan a las necesidades de herramientas y opciones de supervisión y control en diversos ámbitos laborales.

2.2.2. Fundamentos metodológicos de la investigación

- Sistemas de automatización

La automatización de los sistemas se basa en los autómatas programables. El autómeta programable (PLC) consiste en un aparato electrónico capaz de controlar equipos o procesos. El PLC capta señales a través de las entradas, las procesa de acuerdo con un programa y las envía a través de salidas ²³.

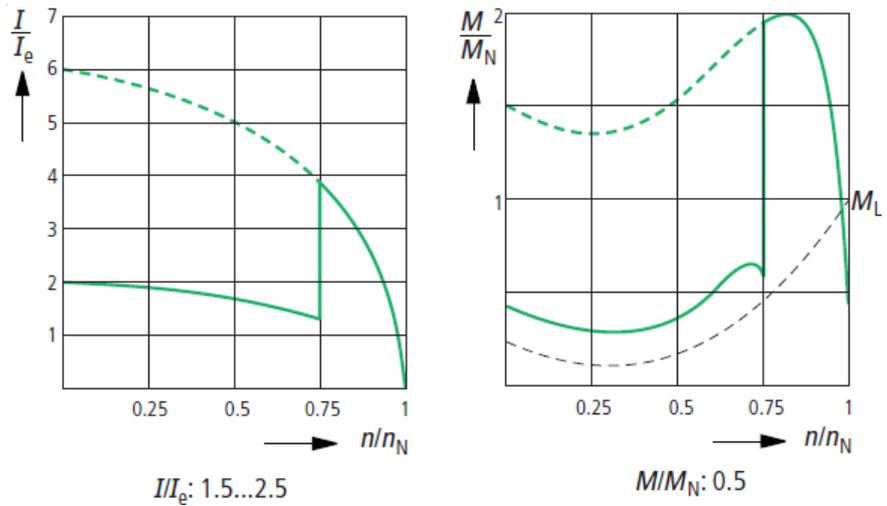


Figura 11. Modelos de arrancadores trifásicos.

Fuente: Moeller ²³.

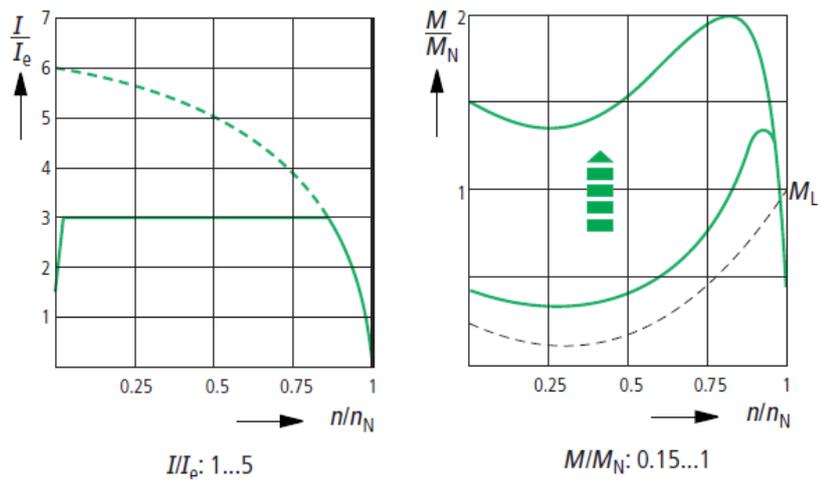


Figura 12. Modelos de arrancadores..

Fuente: Moeller ²³.

- Propósitos de la automatización mediante el sistema SCADA

La aplicación SCADA cuenta con varias páginas con distintos propósitos. Existen 5 páginas principales destinadas al control de la planta (en caso lo requiera) además de otra página auxiliar para la identificación de parámetros o la interfaz, conocido como plantilla Pen Tablet ²⁴.

- Guía Gemma: Su propósito es informar al usuario del estado del sistema (manual, automático, listo, etc.) y permitirle pasar de uno a otro con facilidad. También le permite escoger un algoritmo de control cuando el autómatas se encuentra en el modo Automático en Parada ²⁴.
- Mímico 2D: Esta es la página con la que se controla la planta, y también aquella que el usuario tendrá activa la mayor parte del tiempo. En ella se puede ver un esquema de la planta y de sus principales componentes, al lado de los cuales puede verse un indicador con su estado ²⁴.
- Configuración de controladores: Esta página permite al usuario configurar los controladores para cada algoritmo. Se pueden ver los esquemas de los distintos algoritmos de control e introducir los parámetros de control en cada uno ²⁴.
- Pantalla de gráficos: En esta página se muestra la evolución de distintas magnitudes de la planta piloto a lo largo del tiempo. La mayor parte de la página está compuesta por tres paneles en los que se pueden representar las curvas de tendencia de los caudales, las temperaturas, el nivel del tanque o la apertura de las válvulas ²⁴.
- Mímico 3D: Se adjunta también en una página aparte el mímico tridimensional de la planta (modificación, puesta en marcha y programación de una planta piloto para el control e instrumentación industrial) ²⁴.
- Plantilla Pen Tablet: Esta página es una plantilla que el usuario puede imprimir para usar sobre una tableta de control o pen tablet. En esta plantilla se muestran todos los elementos con los que el usuario puede interactuar con la aplicación (con la excepción de las flechas de la Guía Gemma). Todos los elementos se encuentran en la misma posición en la que están en sus respectivas páginas y, como puede observarse, nunca hay dos ni más elementos en la misma posición ²⁴.

La transferencia entre controladores finalmente puede descomponerse:

$$C(s) = K_c \left(1 + \frac{T_d \cdot s}{1 + \left(\frac{T_d}{K_d} \right) \cdot s} \right) + K_c \cdot \frac{1}{T_i \cdot s} = C'(s) + K_c \cdot \frac{1}{T_i \cdot s}$$

$$C'(s) = K_c \cdot \left(1 + \frac{T_d \cdot s}{1 + \left(\frac{T_d}{K_d} \right) \cdot s} \right) = K_c \cdot \left(\frac{1 + \left(1 + \frac{1}{K_d} \right) T_d \cdot s}{1 + \left(\frac{T_d}{K_d} \right) \cdot s} \right)$$

Por lo tanto, el controlador C puede interpretarse como una red de avance de fase en paralelo con el término integral de un PI. El término proporcional, por su parte ya viene dado por la red de avance de fase. Puesto que el valor de Kd debe estar limitado, a nunca podrá valer menos de 0'001 ni más de 0.9999. La actualización de estos datos será llevada a cabo por los comandos asociados a los indicadores numéricos y por las funciones en ciclo ²⁴.

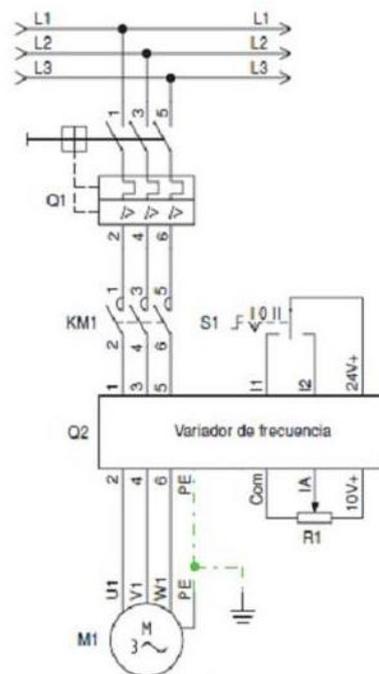


Figura 15. Modelo de configuración en paralelo de arrancadores de motor.

Fuente: Moeller ²³.

- Aparatos de mando y señalización

La superficie activa de un detector de proximidad capacitivo LSC está formada por dos electrodos metálicos dispuestos de forma concéntrica, que pueden presentarse como los electrodos de un condensador “abatible”. Las superficies de los electrodos de este condensador están dispuestas en la rama de reacción de un oscilador de alta frecuencia. Además, está adaptado de forma que en caso de que la superficie esté libre no pueda oscilar. Si un objeto se aproxima a la superficie activa del detector de proximidad, éste accede al campo eléctrico que se halla ante las superficies de los electrodos. Esto provoca un aumento de la capacidad de acoplamiento entre las placas y el oscilador empieza a vibrar. La amplitud de oscilaciones se registra mediante una conexión de evaluación y se convierte en una orden de conexión ²³.

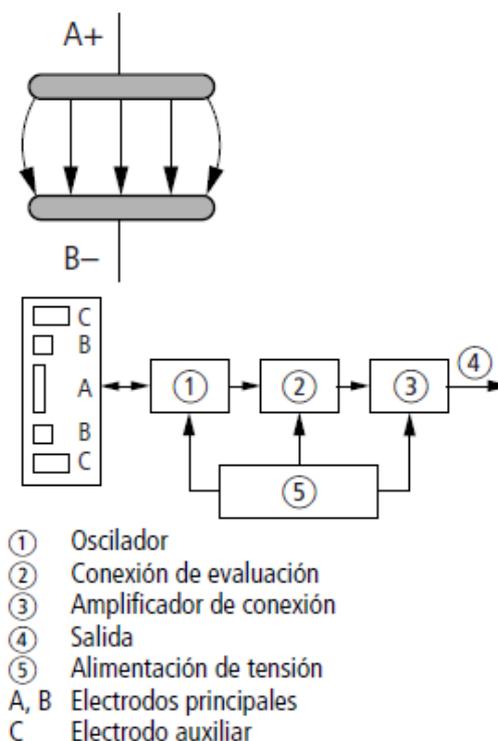


Figura 16. Esquema del principio de funcionamiento asociado a los detectores o sensores de proximidad asociado a capacitivos.

Fuente: Moeller ²³.

- Consideraciones técnicas para la ventilación en mina subterránea

Se debe considerar a los siguientes parámetros para implementar un escenario de ventilación:

- En todos los lugares de la mina donde accede personal, el ambiente deberá ventilarse por medio de una corriente de aire fresco, de no menos de 3 metros cúbicos por minutos y por persona en cualquier sitio de la mina, y la velocidad promedio no podrá ser mayor de 150 m/min, ni inferior a 15 metros por minutos ².
- En toda mina subterránea se deberá disponer de circuitos de ventilación natural o forzado a objeto de mantener un suministro permanente de aire fresco y retorno del aire viciado ².
- En las minas se deberá realizar semestralmente un aforo de ventilación en las entradas y salidas principales de la mina, y anualmente un control general de toda la mina. Los resultados obtenidos a estos aforos deberán registrarse y mantenerse disponible para el servicio ².
- En las minas donde en el desarrollo de las galerías se use ventilación auxiliar, el extremo de la manga de ventilación no deberá estar a más de treinta metros de la frente ².
- En caso de ser necesario ventilar galerías y/o chimeneas con aire comprimido se deberá adicionar a esto sopladores tipo Venturi ².
- No se permitirá la ejecución de trabajos en el interior de las minas subterráneas cuya concentración de oxígeno en el aire, en cuanto a peso, sea inferior a 19,5 % ².
- En caso de paralización imprevista de los ventiladores principales, el personal deberá ser evacuado de los frentes, hacia lugares ventilados, o a la superficie, según las condiciones ambientales existentes ².

- Los reguladores de ventilación no deben ubicarse en galerías de acceso o de transporte ².
 - Los ductos de ventilación y los ventiladores, deberán poseer descarga a tierra ².
 - Las puertas principales de ventilación y sus marcos deben ser construidas de materiales incombustibles o resistentes al fuego y empotrados en la galería. Son los únicos medios de separación entre los flujos de aire principal de entrada y de retorno de la mina ².
 - No serán considerados lugares aptos para la presencia de personas, los frentes de trabajo, vías de acceso o de comunicación, si el aire contiene más de un 2 % de metano, en los frentes de arranque y más de un 0,75 % de metano en las galerías de retorno general del aire de la mina ².
- Sistema de distribución de energía eléctrica

Las redes de distribución de energía eléctrica, así como los parámetros a los que se relacionan esfuerzos de implementación de tecnología y automatización, como es el sistema SCADA, comprenden el análisis de un sistema eléctrico integral, donde la potencia distribuida se da en las etapas de generación, transmisión, distribución y utilización de la energía eléctrica, además que su función primordial es la de llevar esta energía desde los centros de generación hasta los centros de consumo y por último entregarla al usuario en forma segura y con los niveles de calidad exigido ²⁵. La distribución de energía eléctrica es una actividad cuyas técnicas están en un proceso constante de evolución reflejada en el tipo de equipos y herramientas utilizadas, en los tipos de estructuras, en los materiales con los que se construyen las redes de distribución y en los métodos de trabajo de las cuadrillas de construcción y mantenimiento, reflejada también en la metodología de diseño y operación empleando computadores (programas de gerencia de redes, software gráfico, etc.). Algunos de estos factores de evolución son ²⁵:

- Expansión de la carga.
- Normalización de materiales, estructuras y montajes.
- Herramientas y equipos adecuados.
- Métodos de trabajo específicos y normalizados.
- Programas de prevención de accidentes y mantenimiento.
- Surgimiento de industrias de fabricación de equipos eléctricos.
- Grandes volúmenes de datos y planos.

Es usual que la documentación técnica relacionada con un proyecto de distribución incluya las siguientes partes ²⁵:

- Las memorias descriptivas.
- Las especificaciones técnicas sobre equipos y elementos
- Los planos y diagramación de las redes (unifilares).

Todo lo cual constituye el expediente técnico del proyecto, teniendo en cuenta la normativa vigente sectorial y las normas de cada una de las empresas electrificadoras o en su defecto compañías de explotación de recursos naturales. El proyectista debe tener siempre presente que sus diseños deben ser normalizados por las grandes ventajas que esto ofrece durante las etapas de planeamiento, diseño, construcción operación y mantenimiento del sistema de distribución. Los requisitos que debe cumplir un sistema de distribución son ²⁵:

- Aplicación de normas nacionales y/o internacionales.
- Seguridad para el personal y equipos.
- Simplicidad en la construcción y operación.
- Facilidades de alimentación desde el sistema de potencia.
- Optimización de costos (economía).
- Mantenimiento y políticas de adquisición de repuestos.
- Posibilidad de ampliación y flexibilidad.
- Resistencia mecánica.
- Entrenamiento del personal.
- Confiabilidad de los componentes.
- Continuidad del servicio.

- Información relacionada con la zona del proyecto (ubicación, altitud, vías de acceso).
- Regulación de tensión.
- Pérdidas de energía.
- Control de frecuencia.

a) Red de distribución subterránea:

Son empleadas en zonas donde por razones de urbanismo, estética, congestión o condiciones de seguridad no es aconsejable el sistema aéreo ²⁵. Presente las siguientes ventajas:

- Mucho más confiable ya que la mayoría de las contingencias mencionadas en las redes aéreas no afectan a las redes subterránea.
- Son más estéticas, pues no están a la vista.
- Son mucho más seguras.
- No están expuestas a vandalismo.

Así como, tienen las siguientes desventajas ²⁵:

- Su alto costo de inversión inicial.
- Se dificulta la localización de fallas.
- El mantenimiento es más complicado y reparaciones más demoradas.
- Están expuestas a la humedad y a la acción de los roedores.

Los conductores utilizados son aislados de acuerdo al voltaje de operación y conformados por varias capas aislantes y cubiertas protectoras. Estos cables están directamente enterrados o instalados en bancos de ductos con cajas de inspección en intervalos regulares ²⁵. Se considera que un sistema subterráneo cuenta con los siguientes componentes ²⁵:

- Ductos: que pueden ser de asbesto cemento, de PVC o conduit metálicos con diámetro mínimo de 4 pulgadas.
- Cables: pueden ser monopolares o tripolares aislado en polietileno de cadena cruzada XLPE, de polietileno reticulado EPR, en caucho sintético y en papel impregnado en aceite APLA o aislamiento seco elastomérico. A pesar de que existen equipos adecuados, resulta difícil y dispendioso localizar las fallas en un cable subterráneo y su reparación puede tomar mucho tiempo, se recomienda construir estos sistemas en anillo abierto con el fin de garantizar la continuidad del servicio en caso de falla y en seccionadores entrada – salida.
- Cámaras: que son de varios tipos siendo la más común la de inspección y de empalme que sirve para hacer conexiones, pruebas y reparaciones. Deben poder alojar a 2 operarios para realizar los trabajos. Allí llegan uno o más circuitos y pueden contener equipos de maniobra, son usados también para el tendido del cable. La distancia entre cámaras puede variar, así como su forma y tamaño.
- Empalmes, uniones y terminales: que permiten dar continuidad adecuada, conexiones perfectas entre cables y equipos.

b) Redes de distribución para cargas industriales:

Que tienen un componente importante de energía reactiva debido a la gran cantidad de motores instalados. Con frecuencia se hace necesario corregir el factor de potencia. Además de las redes independientes para fuerza motriz es indispensable distinguir otras para calefacción y alumbrado ²⁵.

c) Técnica de planeamiento de los sistemas de distribución:

El uso de las siguientes herramientas y programas está basado en la discrecionalidad del planeador y en la política de operación

de la compañía electrificadora: flujos de carga, cálculo de corrientes de fallo y de cortocircuito, cálculo de caídas de voltaje y pérdidas, impedancias del sistema, proyección de cargas, regulación de voltaje, ajuste de reguladores y ubicación óptima de bancos de condensadores, etc. ²⁵. El criterio de aceptabilidad, representando las políticas de la compañía, obligaciones de los usuarios y restricciones adicionales pueden incluir ²⁵:

- Continuidad del servicio.
 - La caída de voltaje máxima permisible por el usuario más alejado (permanente y momentánea).
 - La carga pico máxima permisible.
 - Confiabilidad del servicio.
 - Pérdidas de potencia y energía.
- Mantenimiento de las redes de distribución de energía eléctrica

El entorno del mantenimiento de las redes de distribución de energía eléctrica se asocia a las necesidades técnicas de las estaciones de generación de dicha fuente energética, de modo que se asegure la continuidad del fluido eléctrico, asumiendo los siguientes parámetros ²⁶:

- Confiabilidad: se asocia con la capacidad que tienen las estaciones de generación de energía eléctrica de continuar suministrando energía al sistema durante un tiempo dado, mientras que se presenta un fallo en alguno de sus componentes (interruptor, barra, etc.) Este periodo de tiempo debe dar el espacio suficiente para realizar las labores de reparación del equipo bajo falla o para ejercer labores de mantenimiento. El suministro continuo de energía se debe garantizar por medio de la realización de maniobras y/o conmutaciones internas que permitan deshabilitar el circuito o la barra que se encuentra en falla y continuar así prestando el servicio de suministro de energía normalmente.

- Seguridad: es la propiedad que tiene la estación de generación de garantizar el suministro de energía sin ningún tipo de interrupción durante fallas en los equipos de potencia (interruptores, barrajes, etc.), es por eso que para tener seguridad en una estación se hace indispensable que esta cuente con confiabilidad, lo que hace necesario que el daño en uno de sus componentes no altere el comportamiento de los demás. Por lo general la seguridad está dada directamente por el impacto que causa en la estabilidad y el comportamiento del sistema, las pérdidas de potencia en un momento de falla
- Flexibilidad: es la propiedad que tiene la estación de generación de energía eléctrica de adaptarse a diferentes condiciones que pueden presentarse cuando se dan cambios operativos en el sistema, contingencias o mantenimiento.

De igual manera, se considera a equipos básicos y necesarios para garantizar el flujo de energía eléctrica ²⁶:

- Transformador de potencia: es el activo más importante de una estación eléctrica; se basa en el fenómeno de la inducción electromagnética, ya que si se aplica una fuerza electromotriz alterna en el devanado primario, debido a la variación de la intensidad y sentido de la corriente alterna, se produce la inducción de un flujo magnético variable. Este flujo originará por inducción electromagnética, la aparición de una fuerza electromotriz en los devanados secundarios.
- Tablero general: gabinete dentro del cual se encuentran los controles y protecciones de los motores de las bombas de aceite, de los ventiladores, del cambiador de derivaciones bajo carga, etc.
- Válvulas: conjunto de dispositivos que se utilizan para el llenado, vaciado, mantenimiento y muestreo del aceite del transformador.
- Conectores a tierra: tramos de cobre desnudo que se conectan desde la cuba del transformador hasta un punto soldado directamente a la malla de puesta a tierra de la subestación.

- Placa de características: la placa de características de un transformador de potencia es uno de los accesorios más importantes debido a la información que suministran. Entre los datos más relevantes están: firma del fabricante, frecuencia, número de fases, tipo de refrigeración, potencia nominal, tensión nominal, relación entre espiras, tensión secundaria, factor de potencia, corriente secundaria, corriente primaria, aumentos permitidos de temperatura, peso, entre otras.

A partir de aquello se tienen los siguientes tipos de mantenimiento ²⁶:

- Mantenimiento preventivo: asociado con el mantenimiento programado que se efectúa a un equipo, servicio o instalación con el propósito de reducir la probabilidad de fallo, mantener condiciones seguras y preestablecidas de operación, prolongar la vida útil y evitar accidentes. El mantenimiento preventivo tiene la finalidad de evitar que el equipo falle durante el periodo de su vida útil y la técnica de su aplicación se apoya en experiencias de operación que determinan que el equipo, después de pasar el periodo de puesta en servicio, reduzca sus propiedades de fallas.
- Mantenimiento predictivo: son pruebas que se realizan a los equipos con el propósito de conocer su estado actual y predecir posibles fallas que se podrían ocasionar. El resultado de este mantenimiento permite tomar acciones correctivas y/o preventivas para optimizar su funcionamiento. El mantenimiento predictivo tiene la finalidad de anticiparse a que el equipo falle; la técnica de su aplicación se apoya en la experiencia adquirida con resultados estadísticos, que determinan que el equipo está más propenso a fallar cuando se encuentran en el periodo inicial de operación, a partir de su puesta en servicio y cuando se acerca al final de su vida útil.
- Mantenimiento correctivo: es la reparación que se realiza al bien, servicio o instalación una vez que se ha producido el fallo con el objetivo de restablecer el funcionamiento y eliminar la causa que ha producido la falla. El mantenimiento correctivo tiene la finalidad

de reemplazar los elementos o equipos averiados y que no pueden funcionar operativamente en la subestación, el reemplazo también se da cuando los equipos han cumplido las horas de trabajo para las que fue fabricado.

Complementariamente se tienen a los parámetros de operación y mantenimiento para trabajos con tensión ²⁶:

- Formulación de procedimientos: toda actividad de mantenimiento preventivo, correctivo y ejecución de toda maniobra de operación, debe tener un procedimiento. Deben considerarse los factores de riesgo y su control en las condiciones normales y las condiciones de emergencia posibles que puedan presentarse. Estos procedimientos podrán verificarse mediante listas de chequeo a modo de guía para el personal que interviene las instalaciones y los equipos.
- Diagnóstico: con el objetivo de efectuar una correcta planeación y programación del trabajo, se debe efectuar un diagnóstico previo de la condición operativa y de seguridad del equipo o instalación a intervenir, el acceso y condiciones del sitio de trabajo, las estrategias de atención en primeros auxilios y de mayor nivel para el personal en caso de emergencia.
- Planeación: toda actividad de operación y mantenimiento debe ser documentada en un plan de trabajo definido por la empresa, el cual debe presentarse para aprobación de las instancias y personas designadas por la empresa, teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:
 - Identificar y analizar los planos eléctricos actualizados del sistema a intervenir (diagrama unifilar).
 - Determinar método de trabajo.
 - Determinar el tiempo de ejecución de la tarea y el tiempo necesario para la ejecución de los procedimientos operativos y de gestión de seguridad.

- Programación: donde todas las personas convocadas para ejecutar las actividades planeadas deben tener las competencias y la habilitación requerida según la responsabilidad asignada.
- Ejecución: teniendo en cuenta lo siguiente:
 - Dependiendo de la complejidad, se debe informar previamente a los trabajadores involucrados en las actividades programadas el plan de trabajo, la responsabilidad asignada, los riesgos asociados y el plan de emergencias, con el objetivo que puedan documentarse.
 - En el sitio de trabajo y antes de iniciar las actividades, el jefe de trabajo hará una reunión con el personal para explicar claramente el alcance del trabajo utilizando planos y diagramas unificares. Se debe informar el método de trabajo, los riesgos asociados y medidas de seguridad, verificar el uso de los elementos de protección personal y colectiva, designar y confirmar la responsabilidad asignada a cada uno de los ejecutores, confirmar que las instrucciones hayan sido comprendidas y llenar los formatos y listas de chequeo.
 - Como parte de las medidas de seguridad, el jefe de trabajo o quien este designe, debe hacer una revisión minuciosa de las condiciones de la instalación (estructuras, circuitos, cajas de conexiones, cubiertas, equipos, ambiente de trabajo, etc.), para detectar los riesgos posibles y determinar las medidas que deben adoptarse para evitar los accidentes.
 - Demarcar y señalizar la zona de trabajo cuando se inicie cualquier trabajo que pueda poner en peligro la seguridad de los trabajadores y los particulares, de acuerdo a la normatividad vigente.
 - Realizar limpieza y reportar terminación de los trabajos y condiciones de los equipos e instalaciones intervenidas.
 - De las actividades de mantenimiento, se debe elaborar un informe, resaltando los cambios o pendientes para los futuros trabajos.

- Debe llevarse un registro de todas las averías que alteren las condiciones de los equipos o instalaciones. Debe hacerse trazabilidad de las averías registradas hasta dar la solución óptima.
- Supervisión y control: debe considerarse en forma prioritaria la detección y el control de los riesgos, vigilando el cumplimiento estricto de los procedimientos de seguridad, incluyendo:
 - Cumplir y hacer cumplir las normas y procedimientos de seguridad.
 - Exigir a los trabajadores la inspección de las herramientas, equipos, instrumentos, elementos de protección personal y colectivos, antes y después de su uso.
 - Verificar que los trabajadores ejecuten su trabajo conforme a los procedimientos y guías establecidos, evitando el uso de herramientas, equipos, instrumentos, elementos de protección personal y colectivos defectuosos.
 - Verificar la delimitación y señalización del lugar de trabajo.
 - En el evento de detectarse algún impedimento en un trabajador para la ejecución de un trabajo, debe retirarse del área.
 - Exigir respeto entre los trabajadores en el área de trabajo para prevenir accidentes.
 - Suspender las labores cuando se presente peligro inminente que amenace la salud o la integridad de los trabajadores de la comunidad, de la propiedad o del medio ambiente.

Las actividades planteadas a realizar sobre cada uno de los equipos de las estaciones, subestaciones y líneas por el grupo de trabajo con tensión se detallan a continuación ²⁶:

- Mantenimiento preventivo de transformadores de potencia:
 - Corrección de puntos calientes (conexiones flojas).
 - Cambio de transformadores de distribución.

- Actividades del mantenimiento preventivo en Interruptores de potencia:
 - Cambio de conectores.
 - Corrección puntos calientes.
 - Lubricación, limpieza y torque.

- Actividades del mantenimiento preventivo en seccionadores:
 - Corrección de puntos calientes.
 - Cambio de cuchillas monopolares.
 - Lubricación, limpieza y torque.
 - Cambio de conectores.

- Actividades del mantenimiento preventivo en transformadores de tensión:
 - Corrección puntos calientes.
 - Cambio de transformadores de tensión.
 - Lubricación, limpieza y torque.
 - Cambio de conectores.

- Actividades del mantenimiento preventivo de transformadores de corriente:
 - Corrección de puntos calientes.
 - Cambio de transformadores de corriente.
 - Lubricación, limpieza y torque.
 - Cambio de conectores.

- Actividades del mantenimiento preventivo de descargadores de sobretensión:
 - Corrección puntos calientes.
 - Cambio de DPS.
 - Cambio de conectores.

- Actividades del mantenimiento preventivo en Líneas de distribución, subtransmisión y transmisión:
 - Corrección de puntos calientes.
 - Cambio de aisladores tipo pin, retención, suspensión.
 - Cambio de crucetas.
 - Empalme de líneas.
 - Cambio cadena de aisladores.

2.3. Definición de términos

- a) Accidente de trabajo: Todo suceso repentino que sobrevenga por causa o con ocasión del trabajo y que produzca en el trabajador una lesión orgánica, una perturbación funcional o psiquiátrica, una invalidez o la muerte. Es también accidente de trabajo aquel que se produce durante la ejecución de órdenes del empleador, o contratante durante la ejecución de una labor bajo su autoridad, aún fuera del lugar y horas de trabajo ³.
- b) Aire: En minas, el aire atmosférico al ingresar a la mina sufre cambios en su composición. El N₂ sube, el O₂ baja, aumenta el CO₂ y también se produce un aumento del vapor de agua, y existe generación de otros gases y polvos que también se suman a esta nueva composición, debido a: respiración de los hombres; equipos de combustión interna; voladuras e incendios ³.
- c) Anclajes de roca: mecanismo utilizado para el sostenimiento de techos en galerías subterráneas o de taludes a cielo abierto; se utilizan pernos de acero anclados en barrenos (hoyos) perforados especialmente con este fin ³.
- d) Arranque: Se define como arranque de un mineral a la fragmentación del macizo rocoso hasta llevarlo a un tamaño que permita su manipulación para ser cargado y transportado. El arranque puede ser realizado con métodos mecánicos (forma continua y discontinua) y también por medio de la perforación con sustancias explosivas (forma discontinua) ³.
- e) Arranque continuo: Se realiza por medio de la interacción mecánica de una herramienta, máquina o pieza sobre la roca para superar su resistencia y cohesión, y que permite una extracción y un transporte en forma continua como, por ejemplo: rozadora, roto palas, minadores, dragas, entre otros ³.

- f) Arranque discontinuo: En este tipo de arranque hay unos procedimientos cíclicos e iterativos donde las técnicas más comunes son las siguientes: aplicaciones mecánicas, eléctricas, la energía química (explosivos), el láser, el calor, la energía hidráulica ³.
- g) Ceiling (C). Nivel Techo de Exposición. Límite que en ningún momento deberá ser sobrepasado ³.
- h) Cable anclado: Cable de acero de alta resistencia capaz de soportar decenas de toneladas, el cual es instalado y luego cementado dentro de un hoyo que se utiliza como medio de sostenimiento en galerías en macizos fracturados ³.
- i) Corriente de aire o corriente de ventilación: Es el sentido de recorrido de un determinado volumen de aire ³.
- j) Difusión natural: Es la ventilación que se establece en un frente ciego, sin intervención de ningún sistema mecánico, que suministre energía a la corriente de aire ³.
- k) Empresa minera: Entidad que se dedica a la preparación, desarrollo, explotación de uno o varios minerales, con fines industriales o económicos, o actividades relacionadas en la construcción de obras civiles en labores subterráneas ³.
- l) Galerías de explotación: Son las obras de carácter lineal realizadas siguiendo una capa, filón o masa mineralizada cuya utilización radica en permitir la obtención de la sustancia que se desea explotar ³.
- m) Labores auxiliares: Se entienden como tales las labores de reconocimiento, comunicación y complementarias para instalaciones, que no estén incluidas en los grupos anteriores ³.
- n) Labores subterráneas: Es toda excavación que se realice bajo tierra con propósito de explotación, cuantificación o exploración. Se incluyen además en la definición, aquellos trabajos subterráneos que se efectúen para el montaje de obras civiles, a las cuales tengan acceso las personas ³.
- o) Mediana minería: Actividad que se desarrolla en una mina que alcanza niveles de producción entre 18.001 a 60.000 toneladas año; genera rendimientos que varían entre 1 y 1.5 toneladas/hombre-turno: ocupa entre 51 y 200 personas dedicadas exclusivamente a las labores mineras ³.
- p) Nudo de ventilación: punto de bifurcación con entrada y salida de uno o varios caudales de ventilación ³.

- q) STEL: Exposición de Corta Duración: Short Time Exposure Level. Limita las exposiciones a corto tiempo, normalmente 15 minutos. Límite a comparar con la exposición promedio ponderada en el tiempo acumulada durante 15 minutos continuos. La exposición a concentraciones mayores no debe superar los 15 minutos y puede ocurrir un máximo de 4 veces por jornada con descansos de 1 hora mínimo entre exposiciones ³.
- r) Ventilación forzada: Es la presión de ventilación que se establece como resultado de un efecto mecánico, en particular un ventilador, el cual suministra la energía de ventilación para el flujo de un volumen de aire ³.
- s) Ventilación natural: Es la presión natural de ventilación que se establece sólo como resultado de efectos climatológicos, diferencia de altura, etc. que actúen sobre una labor subterránea, en la cual existen por lo menos dos accesos, una entrada y una salida. Esta presión origina, entonces, la entrada de un volumen de aire a estas labores ³.
- t) Vía de ventilación: Elemento de una red de ventilación: Túnel, galería transversal, tambor, etc., compuesto por un punto inicial (nudo inicial) y un punto final (nudo final), a través del cual circula un determinado caudal de ventilación ³.
- u) TWA: Media Moderada en el Tiempo (Time Weighted Average). Para comparar con el promedio ponderado en el tiempo de exposición a concentraciones individuales durante toda la jornada de trabajo. Los límites TWA para 8 horas necesitan corrección al ser aplicados a jornadas de trabajo diferentes ³.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método, tipo y nivel de la investigación

3.1.1. Métodos de la investigación

Método científico de enfoque hipotético-deductivo según Hernández-Sampieri et. al. ²⁷. El sustento del entorno deductivo se basa en el análisis de la información desde un punto de vista general para llegar a situaciones específicas, como es el caso del sistema de ventilación que ha sido automatizado con SCADA, frente al análisis de optimización de la distribución de la energía eléctrica en uno de los troncales propiamente dicho y la consideración de su aporte en el control propiamente de los parámetros que condicionan un adecuado funcionamiento de los motores del sistema mencionado, de manera que dicho enfoque específico pueda ser replicado en ámbitos laborales de similar acción; el sustento del método hipotético, consolida sus cimientos en el método científico respecto de la validación de alguno de los supuestos planteados en forma de hipótesis. Como método específico se empleó la observación a profundidad, la cual según Hernández-Sampieri et. al. ²⁷ y Cegarra ²⁸, constituye a un entorno de observación que incluye propiamente al acto o acción de ver un fenómeno, el cual es el objeto de estudio, empero, el entorno de profundidad abarca a la interpretación como aporte científico de la investigación, lo cual garantiza calidad en la investigación.

3.1.2. Tipo de la investigación

Aplicado según Hernández-Sampieri et. al. ²⁷; el tipo aplicado consolida sus ideales en la solución de problemas prácticos inmediatos empleando información existente a nivel teórico en su aplicación; aquello se asocia con el inadecuado uso de energía eléctrica en sentido de productividad, así como la necesidad del empleo de información ya existente para llegar a generar nuevos conocimientos entorno de los sistemas de automatización SCADA y su aporte en la regulación óptima de la energía eléctrica.

3.1.3. Nivel de la investigación

Explicativo según Hernández-Sampieri et. al. ²⁷, que no solo busca describir o establecer relaciones causales, sino que se orienta en encontrar la explicación de las causas asociadas a los indicadores y dimensiones de una variable y como aporta en la otra; asociando aquello al sistema SCADA en el proceso de ventilación, además de obtener aportes indirectos que aseguren la sostenibilidad en la práctica de la explotación minera, es decir, el aporte de dicho sistema de automatización en la adecuada distribución de energía eléctrica para con el área objeto de estudio.

3.2. Diseño de la investigación

No experimental según Hernández-Sampieri et. al. ²⁷; abarca a un escenario donde no existe la manipulación de las variables de estudio, más si el análisis del aporte de una variable sobre la otra (control de la distribución adecuada de la energía eléctrica con el SCADA en términos de potencia distribuida y el control de los parámetros eléctricos: voltaje, corriente y frecuencia); se complementa dicho diseño con el corte transversal que analiza a escenarios de estudio en un solo momento.

$$X_1 \rightarrow Y_1$$

$$X_1 \rightarrow Y_2$$

$$X_1 \rightarrow Y_3$$

Donde:

- X_1 = Potencia distribuida con la automatización con SCADA.
- Y_1 = Control del voltaje (V) en el Troncal 1.
- Y_2 = Control de la corriente (A) en el Troncal 1.
- Y_3 = Control de la frecuencia (Hz) en el Troncal 1.

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población (N)

La población de la investigación según Hernández-Sampieri et. al. ²⁷ es el conjunto de individuos, objetos o acciones que poseen características en común, que sean observables en momentos determinados y que de la cual se desee conocer en la investigación mediante la aplicación del método científico, tal como es el caso del análisis de los componentes del sistema SCADA (sensores, programación, distribución de energía, etc.) propiamente en el proceso de ventilación a nivel de explotación minera subterránea, de modo que sea posible asumir a uno de dichos escenarios como muestra representativa.

3.3.2. Muestra (n)

La muestra de una investigación según Hernández-Sampieri et. al. ²⁷ engloba a una parte de la población que se determine como representativa; dicha muestra para la presente tesis se determinó no probabilísticamente a conveniencia ²⁷, la cual fue propiamente la distribución de energía eléctrica (parámetros: voltaje, corriente y frecuencia); el sustento del muestreo no probabilístico se asocia con el requerimiento de la mayor data posible (data disponible del Troncal 1 respecto del sistema de ventilación) para obtener escenarios de una mejor observación que permitan validar a la hipótesis planteada ²⁵, así como el requerimiento técnico de optar por el conjunto de parámetros asociados al SCADA que se hayan implementado y favorezcan al control adecuado de la distribución de energía eléctrica.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Técnicas de recolección de datos

Según Hernández-Sampieri et. al.²⁷, las técnicas de recolección de datos se asocian con procedimientos y actividades que brindan un medio de acceso al investigador para alcanzar los objetivos planteados en la tesis, las cuales tienen un carácter práctico y operativo, siendo a la vez abstracto por ser considerado un medio que permite aproximarse a los fenómenos a observar y obtener información. La técnica de recolección de datos, según el autor citado²⁷, apropiada para la investigación se asocia con el corte específico de análisis de data, es decir: cotejo de base de datos enmarcada en la recopilación documental (cotejo de datos históricos para el caso de la data resultante del almacenamiento propio del sistema SCADA), presentado propiamente en la sección de resultados en modo de tablas respecto del período de análisis de la investigación. Es oportuno resaltar que otra técnica empleada para el alcance de los objetivos fue la observación²⁷ de forma complementaria para identificar y analizar aspectos más significativos (interpretaciones más adecuadas) asociados con el aporte del sistema SCADA en la adecuada distribución de energía eléctrica asociada al sistema de ventilación en el Troncal 1.

3.4.2. Instrumentos de recolección de datos

El instrumento de recolección de datos, según Hernández-Sampieri et. al.²⁷, se define como un recurso asociado a la técnica de recolección de datos que complementa de forma verídica el empleo de la mencionada técnica, es decir, de forma tangible, de forma que se extienda a por la validez de la información recopilada, además de aportar con la investigación en generar documentación propia de cotejo que pueda ser replicada en investigaciones similares; concretamente, el instrumento de recolección de datos apropiado para la técnica de recolección seleccionada es la lista de cotejo de base de datos (ver anexo 11).

3.5. Técnicas de análisis y procesamiento de datos

Las técnicas de procesamiento de datos, según Hernández-Sampieri et. al. ²⁷, abarcan a procesos y actividades que permiten analizar, mediante el orden y procesamiento de la data recolectada, la información que permite alcanzar los objetivos de la investigación, siempre asociadas con la validez de contenido y de afirmaciones para dar sostén a la realidad siempre asociada con el aporte de la ciencia, es decir, se asocian con el uso de la estadística descriptiva e inferencial (mecanismos de validez respecto de un nivel de confianza), así como el asumir lo presentado a nivel de implementación de data del sistema SCADA propiamente en la muestra representativa seleccionada; el análisis de confiabilidad y validez estadística abarcó al empleo de una prueba de normalidad estadística (Kolgomorov-Smirnov) para conocer la dispersión de datos a un nivel de confianza del 95 %, de modo que su validación represente la aprobación del empleo de una prueba paramétrica de correlación (Pearson), así como el empleo de la prueba de ANOVA para comparar y validar si los datos de los parámetros eléctricos respecto de su distribución se asocian con la implementación de la automatización con SCADA.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados de la investigación

a) Presentación y validación de resultados

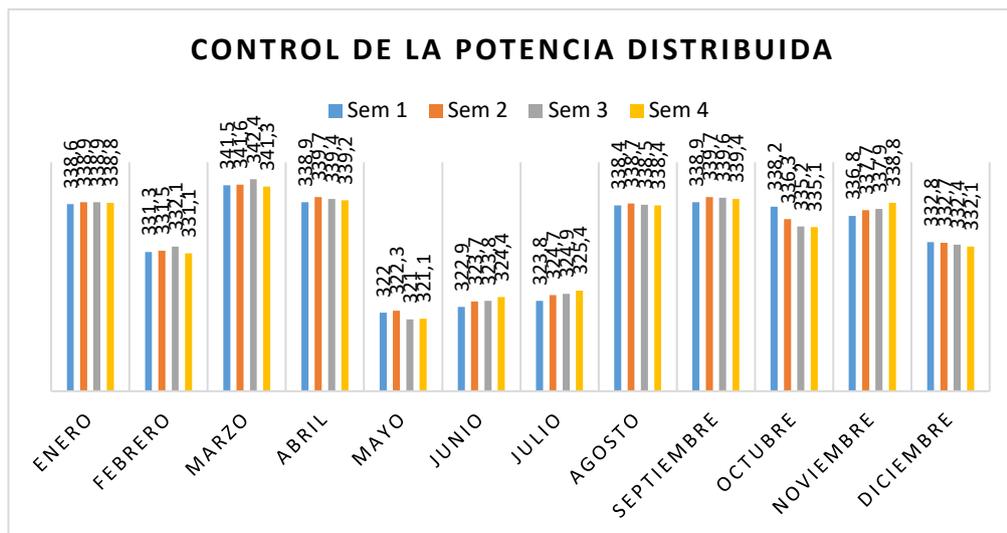
Se procede a presentar gráficos y la validación de los datos analizados, asumiendo el entorno de parámetro eléctrico de control (potencia en distribución), además de los indicadores de control, es decir, la temperatura del motor, la vibración que se genera en los ventiladores y la velocidad del viento. De igual manera, los parámetros eléctricos asociados al tema de distribución de energía fueron el voltaje, corriente y frecuencia.

- Potencia distribuida:

Tabla 06. *Datos del control de la potencia distribuida con SCADA hacia el sistema de ventilación.*

Mes	E	F	M	A	M	Jn	Jl	A	S	O	N	D
Sem1	338,6	331,3	341,5	338,9	322	322,9	323,8	338,4	338,9	338,2	336,8	332,8
Sem2	338,9	331,5	341,6	339,7	322,3	323,7	324,7	338,7	339,7	336,3	337,7	332,7
Sem3	338,9	332,1	342,4	339,4	321	323,8	324,9	338,5	339,6	335,2	337,9	332,4
Sem4	338,8	331,1	341,3	339,2	321,1	324,4	325,4	338,4	339,4	335,1	338,8	332,1

Fuente: elaboración propia.



Estadísticos descriptivos

	N	Rango	Mínimo	Máximo	Media	Dev. típ.	Varianza
	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Error típico	Estadístico
Potencia	48	21,40	321,00	342,40	333,8083	,97586	6,76099
N válido (según lista)	48						

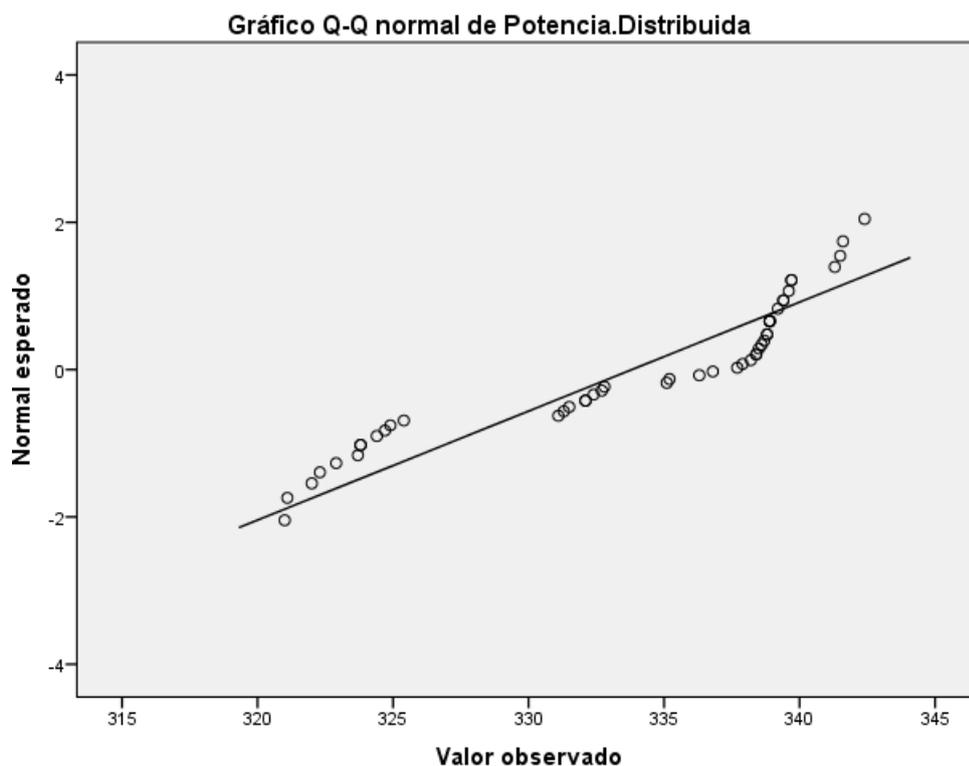


Figura 17. Representaciones de la dispersión de los datos semanales y estadísticos descriptivos respecto de la potencia distribuida (kW).

Fuente: elaboración propia.

Para la validación de los datos analizados respecto de la distribución de energía se propusieron los siguientes supuestos:

*H0: La potencia distribuida (kW) evidencia distribución normal ($z < 0.05$).

*Ha: La potencia distribuida (kW) no evidencia distribución normal ($z > 0.05$).

A lo cual se aplicó la prueba de Kolmogorov-Smirnov, la misma que según Triola ²⁸, analiza la dispersión de datos y su validación con la consigna de que éstos sean mayor a 30, cumpliendo dicho parámetro y de igual manera **validando** para el caso la hipótesis nula que menciona que potencia distribuida (kW) evidencia distribución normal ($0.000 < 0.05$), es decir, que los datos no muestran una tendencia a dispersión respecto de la recta a un 95 % de nivel de confianza (error = 0.05).

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Potencia.	,218	48	,000	,849	48	,000

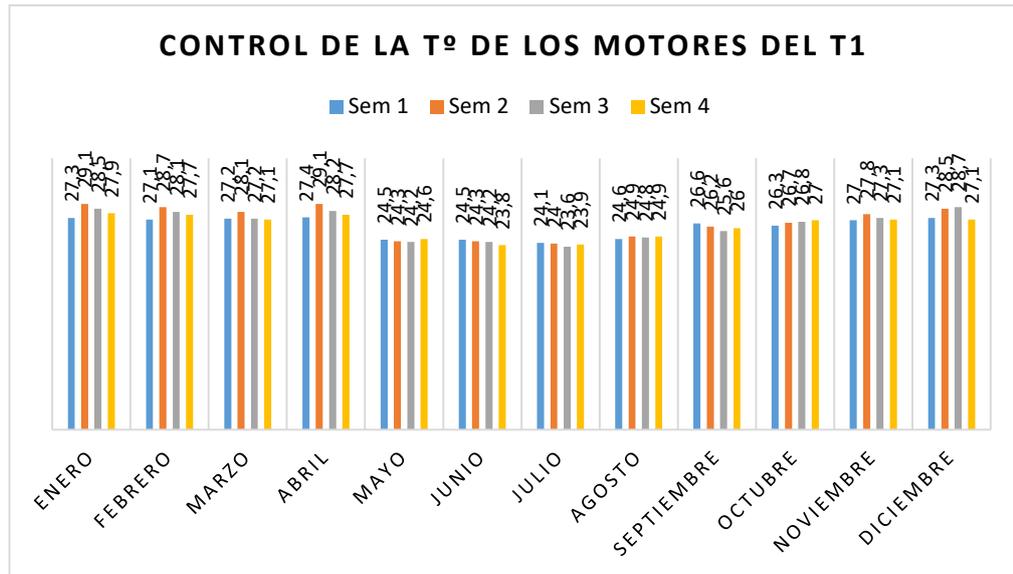
a. Corrección de la significación de Lilliefors

- Temperatura del motor de los ventiladores

Tabla 07. *Datos del control de la temperatura del motor de los ventiladores.*

Mes	E	F	M	A	M	Jn	Jl	A	S	O	N	D
Sem1	27,3	27,1	27,2	27,4	24,5	24,5	24,1	24,6	26,6	26,3	27	27,3
Sem2	29,1	28,7	28,1	29,1	24,3	24,3	24	24,9	26,2	26,7	27,8	28,5
Sem3	28,5	28,1	27,2	28,2	24,2	24,2	23,6	24,8	25,6	26,8	27,3	28,7
Sem4	27,9	27,7	27,1	27,7	24,6	23,8	23,9	24,9	26	27	27,1	27,1

Fuente: elaboración propia.



Estadísticos descriptivos

	N	Rango	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.	Varianza
	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Error típico	Estadístico
Temperatura.Motor	48	5,50	23,60	29,10	26,4083	,24031	1,66489
N válido (según lista)	48						

Gráfico Q-Q normal de Temperatura.Motor

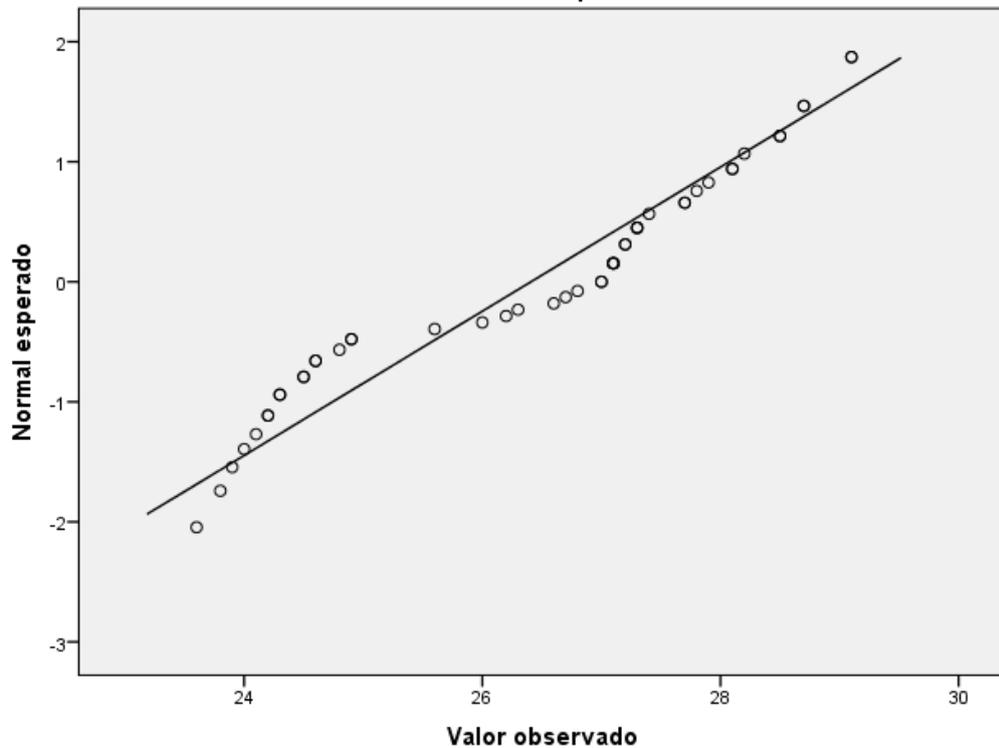


Figura 18. Representaciones de la dispersión de los datos semanales y estadísticos descriptivos respecto del control de la temperatura del motor del ventilador.

Fuente: elaboración propia.

Para la validación de los datos analizados respecto del control de la temperatura del motor se propusieron los siguientes supuestos:

*H0: Los datos del control de temperatura (°C) del motor de los ventiladores evidencian distribución normal ($z < 0.05$).

*Ha: Los datos del control de temperatura (°C) del motor de los ventiladores no evidencian distribución normal ($z > 0.05$).

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Temperatura.Motor	,160	48	,004	,920	48	,003

a. Corrección de la significación de Lilliefors

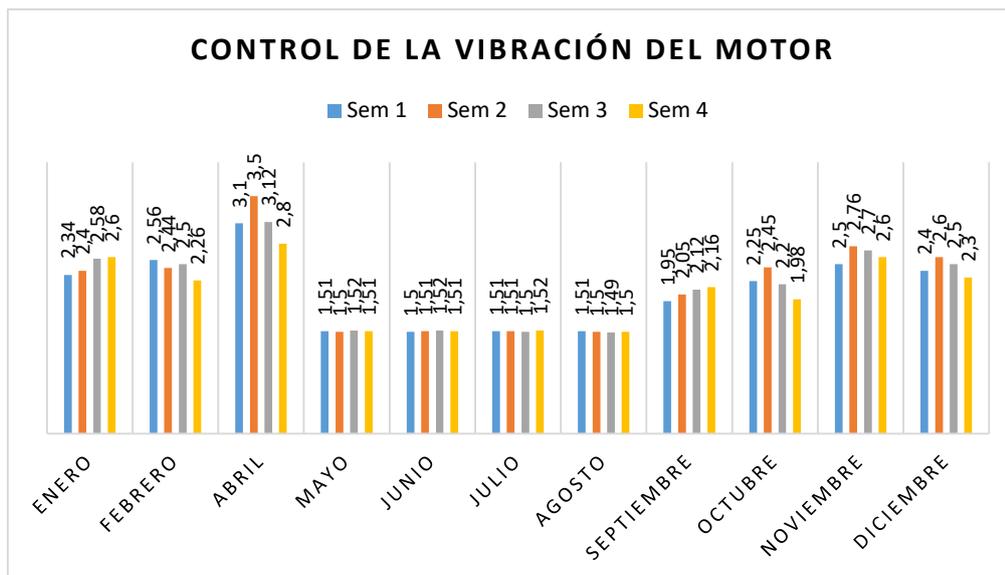
Se evidencia que el valor de significancia estadística es de 0.004, validando así la hipótesis nula: Los datos del control de temperatura (°C) del motor de los ventiladores evidencian distribución normal ($0.004 < 0.05$), es decir, no existe una gran dispersión de los datos.

- Vibración de los ventiladores

Tabla 08. *Datos del control de la vibración de los ventiladores con SCADA.*

Mes	E	F	M	A	M	Jn	Jl	A	S	O	N	D
Sem1	2,34	2,56	2,58	3,1	1,51	1,5	1,51	1,51	1,95	2,25	2,5	2,4
Sem2	2,4	2,44	3,1	3,5	1,5	1,51	1,51	1,5	2,05	2,45	2,76	2,6
Sem3	2,58	2,5	2,95	3,12	1,52	1,52	1,5	1,49	2,12	2,2	2,7	2,5
Sem4	2,6	2,26	2,53	2,8	1,51	1,51	1,52	1,5	2,16	1,98	2,6	2,3

Fuente: elaboración propia.



Estadísticos descriptivos

	N	Rango	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.	Varianza
	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Error típico	Estadístico
Vibración.Motor	48	2,01	1,49	3,50	2,1875	,08144	,56424
N válido (según lista)	48						

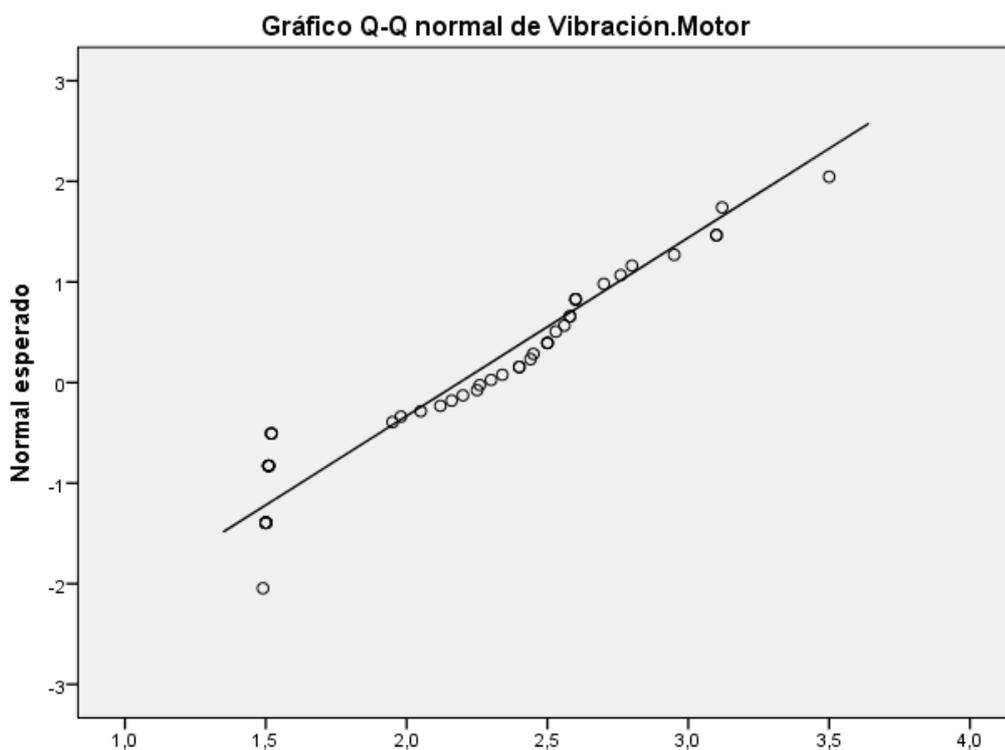


Figura 19. Representaciones de la dispersión de los datos semanales y estadísticos descriptivos respecto del control de la vibración del motor del ventilador.

Fuente: elaboración propia.

Para la validación de los datos analizados respecto del control de la vibración del motor se propusieron los siguientes supuestos:

*H0: Los datos del control de la vibración del motor de los ventiladores evidencian distribución normal ($z < 0.05$).

*Ha: Los datos del control de la vibración del motor de los ventiladores no evidencian distribución normal ($z > 0.05$).

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Vibración.Motor	,215	48	,000	,896	48	,000

a. Corrección de la significación de Lilliefors

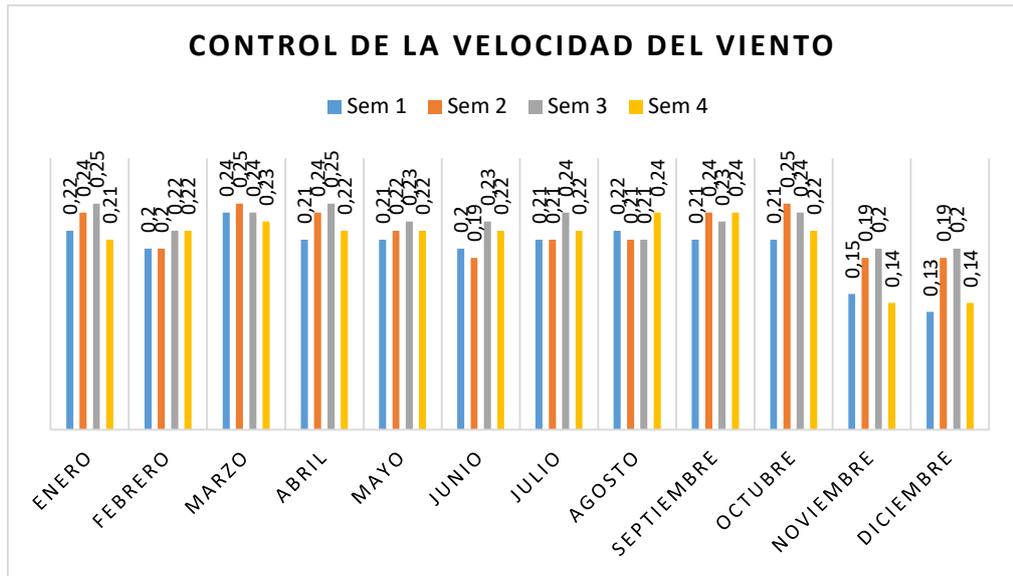
Se evidencia que el valor de significancia estadística es de 0.000, validando así la hipótesis nula: Los datos del control de la vibración del motor de los ventiladores evidencian distribución normal ($0.000 < 0.05$), es decir, no existe una gran dispersión de los datos, validando de tal modo a éstos.

- Control de la velocidad del viento

Tabla 09. *Datos del monitoreo con SCADA de la velocidad del viento en interior mina.*

Mes	E	F	M	A	M	Jn	Jl	A	S	O	N	D
Sem1	0,22	0,2	0,24	0,21	0,21	0,2	0,21	0,22	0,21	0,21	0,15	0,13
Sem2	0,24	0,2	0,25	0,24	0,22	0,19	0,21	0,21	0,24	0,25	0,19	0,19
Sem3	0,25	0,22	0,24	0,25	0,23	0,23	0,24	0,21	0,23	0,24	0,2	0,2
Sem4	0,21	0,22	0,23	0,22	0,22	0,22	0,22	0,24	0,24	0,22	0,14	0,14

Fuente: elaboración propia.



Estadísticos descriptivos

	N	Rango	Mínimo	Máximo	Media		Desv. típ.	Varianza
	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Error típico	Estadístico	Estadístico
Velocidad.Viento	48	,12	,13	,25	,2146	,00408	,02828	,001
N válido (según lista)	48							

Gráfico Q-Q normal de Velocidad.Viento

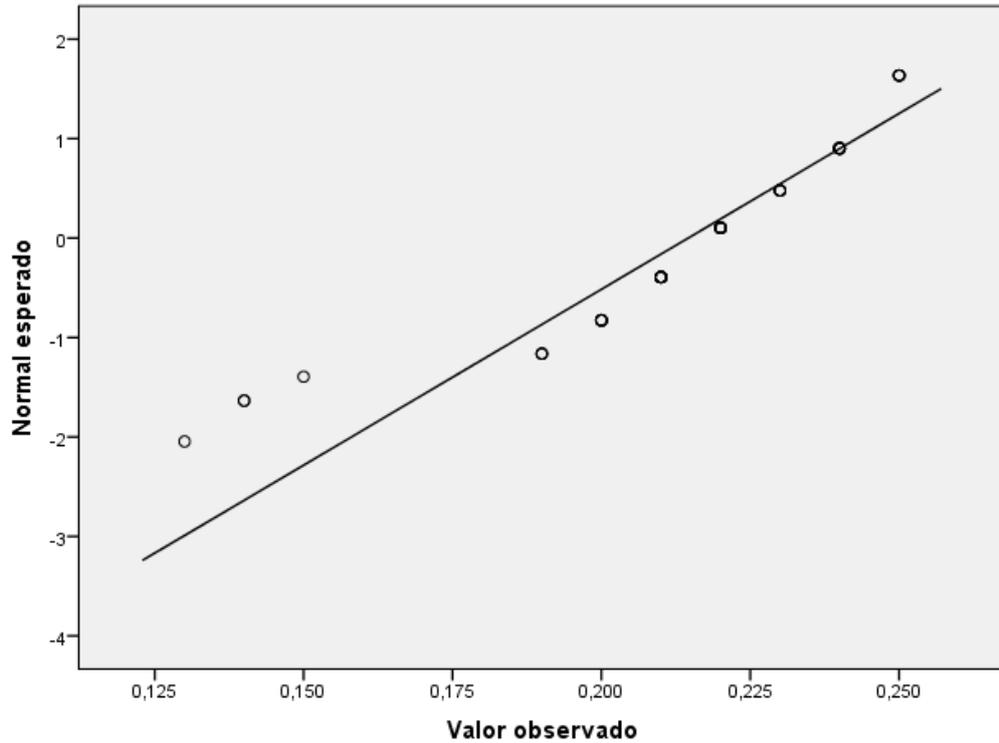


Figura 20. Representaciones de la dispersión y estadísticos descriptivos del control de la velocidad del viento en interior mina con SCADA.

Fuente: elaboración propia.

Para la validación de los datos analizados respecto del control de la velocidad del viento se propusieron los siguientes supuestos:

*H0: Los datos del control de la velocidad del viento en interior mina monitoreada con SCADA evidencian distribución normal ($z < 0.05$).

*Ha: Los datos del control de la velocidad del viento en interior mina monitoreada con SCADA no evidencian distribución normal ($z < 0.05$).

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Velocidad.Viento	,186	48	,000	,856	48	,000

a. Corrección de la significación de Lilliefors

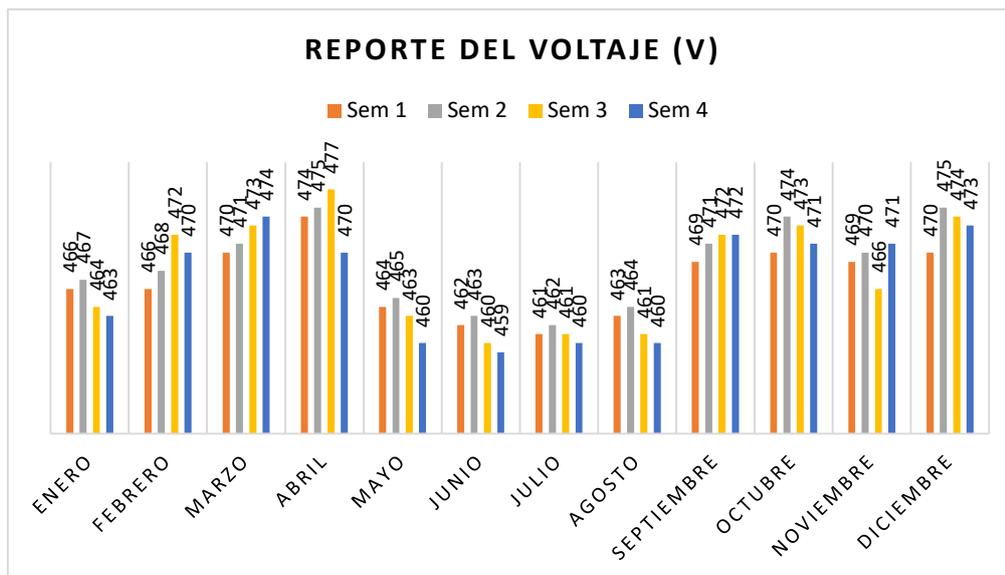
Se evidencia que el valor de significancia estadística es de 0.000, validando así la hipótesis nula: Los datos del control de la velocidad del viento en interior mina monitoreada con SCADA evidencian distribución normal ($0.000 < 0.05$), es decir, no existe una gran dispersión de los datos, validando de tal modo a éstos.

- Voltaje (V):

Tabla 10. *Datos del voltaje distribuido y controlado mediante el sistema SCADA.*

Mes	E	F	M	A	M	Jn	Jl	A	S	O	N	D
Sem1	466	466	470	474	464	462	461	463	469	470	469	470
Sem2	467	468	471	475	465	463	464	464	471	474	470	475
Sem3	464	472	473	477	463	460	461	461	472	473	466	474
Sem4	463	470	474	470	460	459	460	460	472	471	471	473

Fuente: elaboración propia.



Estadísticos descriptivos

	N	Rango	Mínimo	Máximo	Media		Desv. típ.	Varianza
	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Error típico	Estadístico	Estadístico
Voltaje	48	18,00	459,00	477,00	467,7083	,73233	5,07375	25,743
N válido (según lista)	48							

Gráfico Q-Q normal de Voltaje

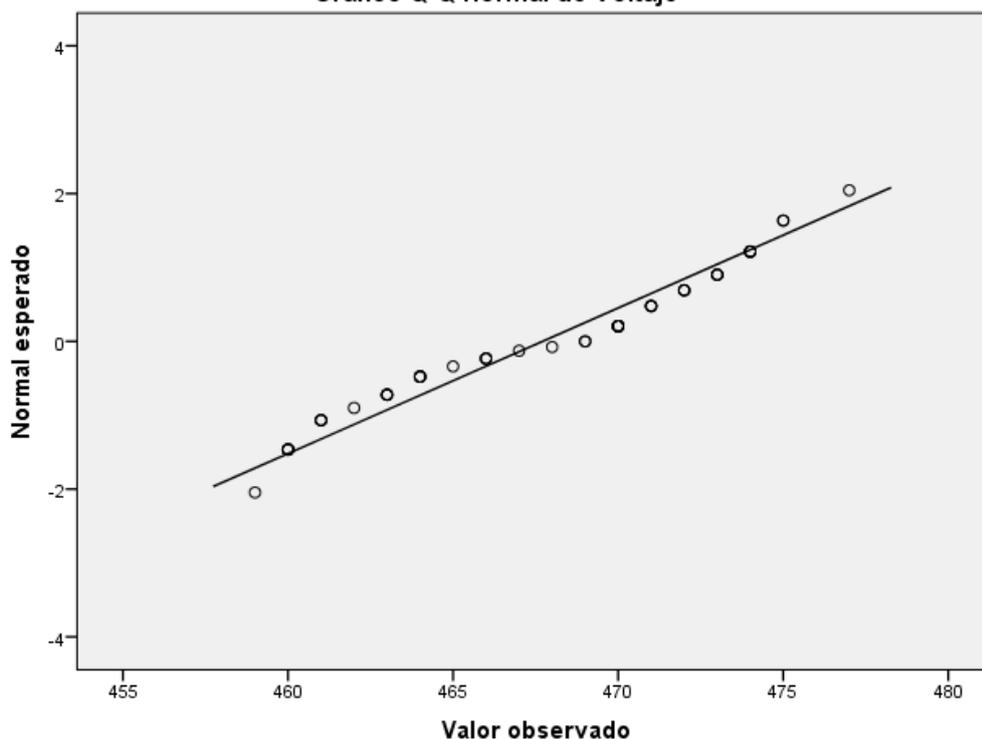


Figura 21. Representaciones de la dispersión del control y estadísticos descriptivos del voltaje asociado a la distribución de energía eléctrica en el sistema de ventilación con SCADA.

Fuente: elaboración propia.

Para la validación de los datos analizados respecto del control del voltaje distribuido se propusieron los siguientes supuestos:

*H0: Los datos del control del voltaje distribuido con SCADA evidencian distribución normal ($z < 0.05$).

*Ha: Los datos del control del voltaje distribuido con SCADA no evidencian distribución normal ($z < 0.05$).

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Voltaje	,153	48	,006	,940	48	,017

a. Corrección de la significación de Lilliefors

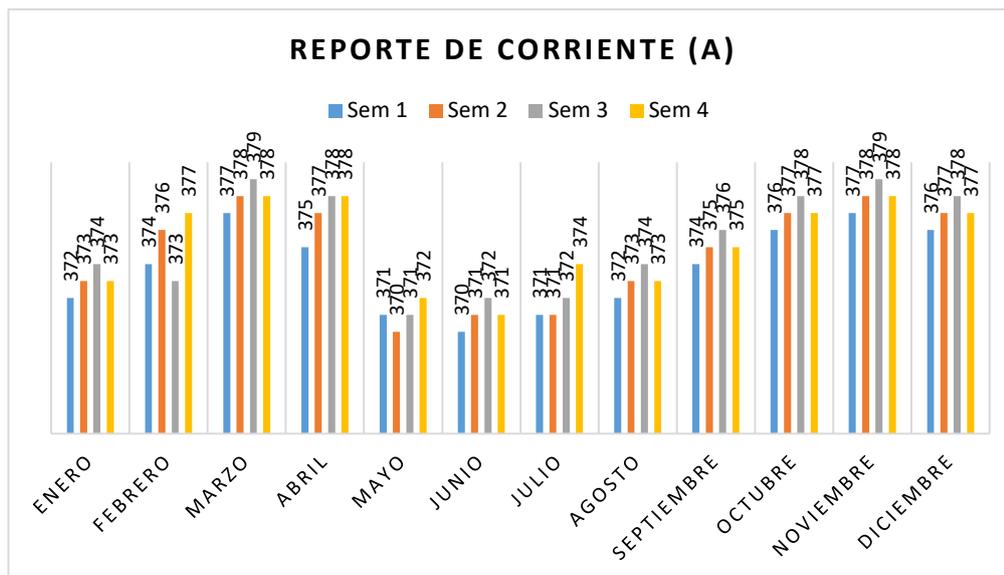
Se evidencia que el valor de significancia estadística es de 0.006, validando así la hipótesis nula: Los datos del control del voltaje distribuido con SCADA evidencian distribución normal ($0.006 < 0.05$), es decir, no existe una gran dispersión de los datos, validando de tal modo a la data correspondiente al voltaje.

- Corriente (A):

Tabla 11. *Datos de la corriente distribuida y controlada mediante el sistema SCADA.*

Mes	E	F	M	A	M	Jn	Jl	A	S	O	N	D
Sem1	372	374	377	375	371	370	371	372	374	376	377	376
Sem2	373	376	378	377	370	371	371	373	375	377	378	377
Sem3	374	373	379	378	371	372	372	374	376	378	379	378
Sem4	373	377	378	378	372	371	374	373	375	377	378	377

Fuente: elaboración propia.



Estadísticos descriptivos

	N	Rango	Mínimo	Máximo	Media		Desv. tip.	Varianza
	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Error típico	Estadístico	Estadístico
Corriente	48	9,00	370,00	379,00	374,7500	,39556	2,74055	7,511
N válido (según lista)	48							

Gráfico Q-Q normal de Corriente

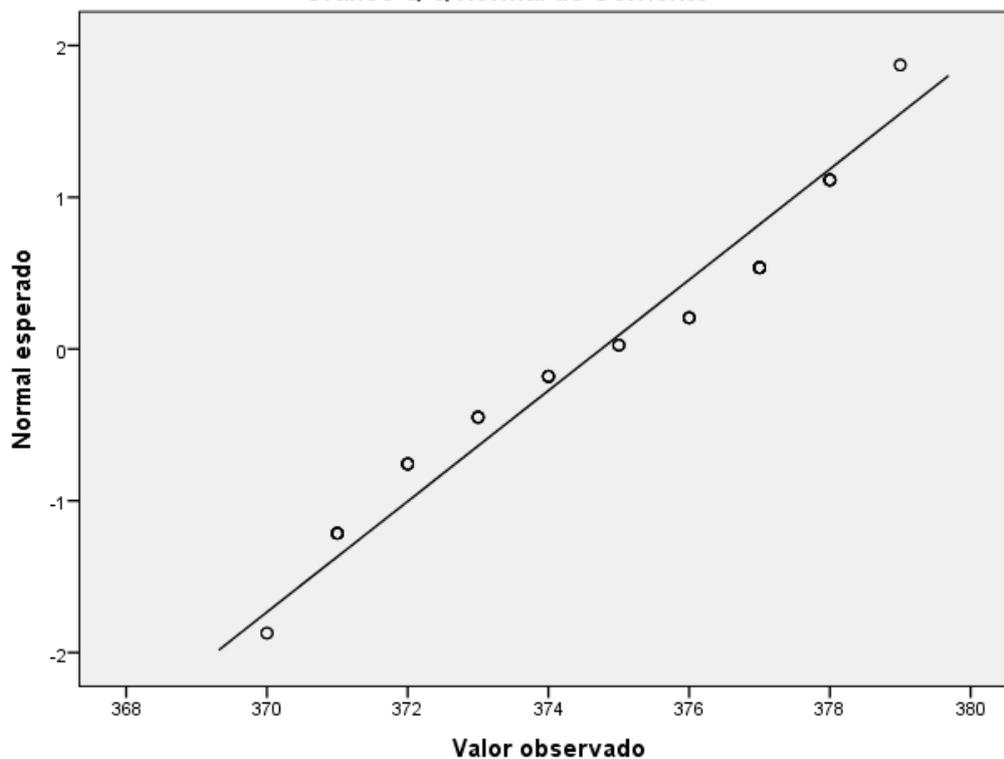


Figura 22. Representaciones de la dispersión y estadísticos descriptivos del control de la corriente que ha sido distribuida en el sistema de ventilación con SCADA.

Fuente: elaboración propia.

Para la validación de los datos analizados respecto del control de la corriente distribuida se propusieron los siguientes supuestos:

*H0: Los datos del control de la corriente distribuida con SCADA evidencian distribución normal ($z < 0.05$).

*Ha: Los datos del control de la corriente distribuida con SCADA no evidencian distribución normal ($z < 0.05$).

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Corriente	,169	48	,001	,921	48	,003

a. Corrección de la significación de Lilliefors

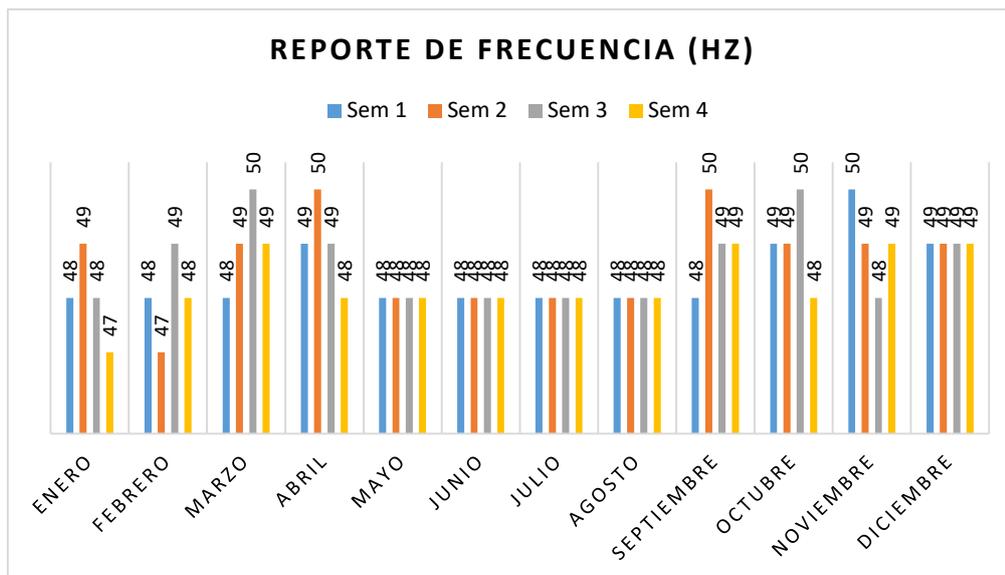
Se evidencia que el valor de significancia estadística es de 0.001, validando así la hipótesis nula: Los datos del control de la corriente distribuida con SCADA no evidencian distribución normal ($0.001 < 0.05$), es decir, no existe una gran dispersión de los datos, validando de tal modo a la data correspondiente a la corriente.

- Frecuencia (Hz):

Tabla 12. *Datos de la frecuencia distribuida y controlada mediante el sistema SCADA.*

Mes	E	F	M	A	M	Jn	Jl	A	S	O	N	D
Sem1	48	48	48	49	48	48	48	48	48	49	50	49
Sem2	49	47	49	50	48	48	48	48	50	49	49	49
Sem3	48	49	50	49	48	48	48	48	49	50	48	49
Sem4	47	48	49	48	48	48	48	48	49	48	49	49

Fuente: elaboración propia.



Estadísticos descriptivos

	N	Rango	Mínimo	Máximo	Media	Desv. tip.	Varianza
	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Error típico	Estadístico
Frecuencia	48	3,00	47,00	50,00	48,5000	,10735	,74377
N válido (según lista)	48						

Gráfico Q-Q normal de Frecuencia

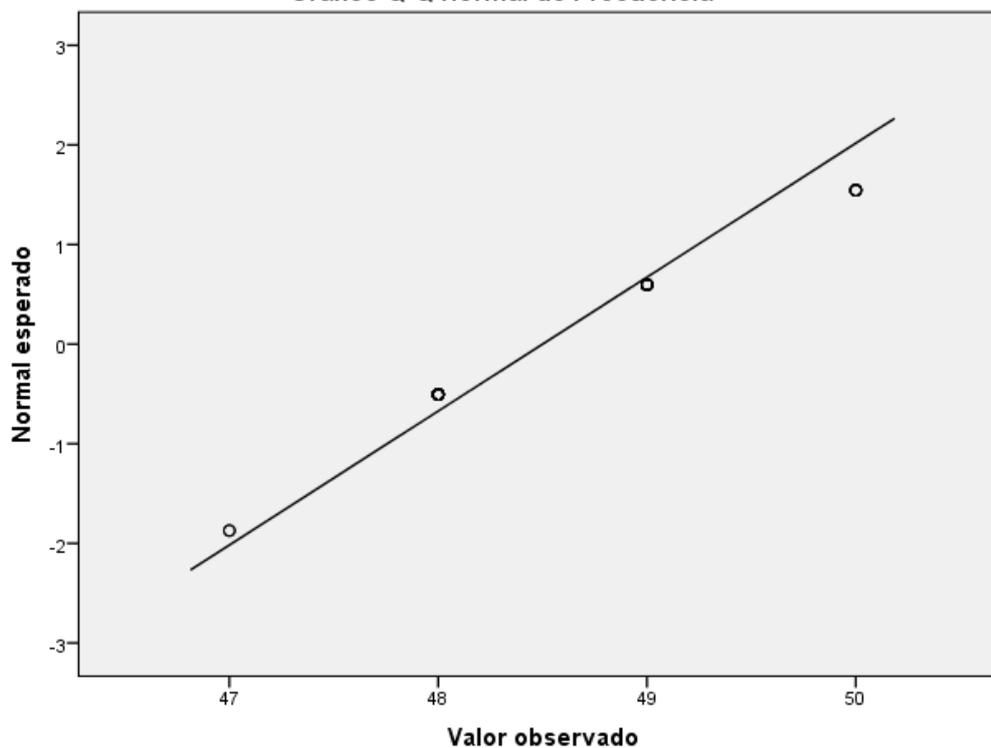


Figura 23. Representaciones de la dispersión y estadísticos descriptivos del control de la frecuencia que ha sido distribuida en el sistema de ventilación con SCADA.

Fuente: elaboración propia.

Para la validación de los datos analizados respecto del control de la frecuencia distribuida se propusieron los siguientes supuestos:

*H0: Los datos del control de la frecuencia distribuida con SCADA evidencian distribución normal ($z < 0.05$).

*Ha: Los datos del control de la frecuencia distribuida con SCADA no evidencian distribución normal ($z < 0.05$).

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Frecuencia	,312	48	,000	,818	48	,000

a. Corrección de la significación de Lilliefors

Se evidencia que el valor de significancia estadística es de 0.000, validando así la hipótesis nula: Los datos del control de la frecuencia distribuida con SCADA evidencian distribución normal ($0.000 < 0.05$), es decir, no existe una gran dispersión de los datos, validando de tal modo a la data correspondiente a la corriente.

b) Contrastación de hipótesis

A partir de la validación de los datos cotejados, es posible afirmar que se empleó una prueba paramétrica de relación, o correlación, para la validación de las hipótesis específicas planteadas. Dicha prueba, según lo propuesto por Triola²⁸, es la de Pearson, sumada a la de ANOVA en un entorno paramétrico, para que así se valide a la hipótesis planteada de modo que se lleguen a conclusiones representativas. Para la validación del entorno de comparación, se proponen escalas de relación o influencia, las cuales son²⁷:

0 = correlación nula

0.01 – 0.19 = correlación positiva insignificante

0.02 – 0.39 = correlación positiva baja

0.4 – 0.69 = correlación positiva moderada

0.7 – 0.89 = correlación positiva alta

0.9 – 0.99 = correlación significativa

1 = correlación perfecta

- Parámetros de control vs potencia distribuida

Se tuvo en cuenta la comparación de los datos presentados en las tablas 8 (potencia distribuida), 9 (temperatura del motor), 10 (vibración del motor) y 11 (velocidad del viento), de la siguiente manera:

- Correlación entre la potencia distribuida y el control de la temperatura (datos de las tablas 6 y 7):

Correlaciones

		Temperatura. Motor	Potencia. Distribuida
Temperatura.Motor	Correlación de Pearson	1	,644**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	48	48
Potencia.Distribuida	Correlación de Pearson	,644**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	48	48

Se muestra que el valor de correlación entre la potencia distribuida y el control de la temperatura del motor del sistema de ventilación es de 0.644, lo cual recae en una zona de correlación positiva moderada.

- Correlación entre la potencia distribuida y el control de la vibración del motor (datos de las tablas 6 y 8):

Correlaciones

		Potencia. Distribuida	Vibración. Motor
Potencia.Distribuida	Correlación de Pearson	1	,670**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	48	48
Vibración.Motor	Correlación de Pearson	,670	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	48	48

Se muestra que el valor de correlación entre la potencia distribuida y el control de la vibración del motor del sistema de ventilación es de 0.670, lo cual recae en una zona de correlación positiva moderada.

- Correlación entre la potencia distribuida y el control de la velocidad del viento (datos de las tablas 6 y 9):

Correlaciones

		Potencia. Distribuida	Velocidad. Viento
Potencia.Distribuida	Correlación de Pearson	1	,152
	Sig. (bilateral)		,302
	N	48	48
Velocidad.Viento	Correlación de Pearson	,152	1
	Sig. (bilateral)	,302	
	N	48	48

Se muestra que el valor de correlación entre la potencia distribuida y la velocidad del viento medida en el troncal 1 y asociada al sistema de ventilación es de 0.152, lo cual recae en una zona de correlación positiva insignificante.

Se evidencia por tanto que, respecto de los parámetros de control del accionar del sistema de ventilación que fueron parte de la tesis, el control de la temperatura ($p = 0.644$) y de la vibración del motor ($p = 0.670$) se relaciona de una forma moderada con la automatización que brinda el sistema SCADA, mientras que el control de la velocidad del viento ($p = 0.157$) evidencia una relación insignificante, lo cual se asocia con el control de un indicador independiente del funcionamiento del sistema de ventilación, es decir, es producto de éste.

- Parámetros eléctricos vs potencia distribuida

Se tuvo en cuenta la comparación de los datos presentados en las tablas 8 (potencia distribuida), 12 (voltaje), 13 (corriente) y 14 (frecuencia), de la siguiente manera:

- Correlación entre la potencia distribuida y el voltaje distribuido (datos de las tablas 6 y 10):

Correlaciones

		Potencia	Voltaje
Potencia	Correlación de Pearson	1	,582**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	48	48
Voltaje	Correlación de Pearson	,582	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	48	48

Se muestra que el valor de correlación entre la potencia distribuida y el voltaje distribuido en el sistema de ventilación es de 0.582, lo cual recae en una zona de correlación positiva moderada.

- Correlación entre la potencia distribuida y la corriente distribuida (datos de las tablas 6 y 11):

Correlaciones

		Potencia.	Corriente
Potencia.	Correlación de Pearson	1	,672**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	48	48
Corriente	Correlación de Pearson	,672	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	48	48

Se muestra que el valor de correlación entre la potencia distribuida y la corriente distribuida en el sistema de ventilación es de 0.672, lo cual recae en una zona de correlación positiva moderada.

- Correlación entre la potencia distribuida y la frecuencia distribuida (datos de las tablas 6 y 12):

Correlaciones

		Potencia.	Frecuencia
Potencia.	Correlación de Pearson	1	,615**
	Sig. (bilateral)		,003
	N	48	48
Frecuencia	Correlación de Pearson	,615	1
	Sig. (bilateral)	,003	
	N	48	48

Se muestra que el valor de correlación entre la potencia distribuida y la corriente distribuida en el sistema de ventilación es de 0.615, lo cual recae en una zona de correlación positiva moderada.

Se evidencia por tanto que, respecto de los parámetros eléctricos de distribución de energía en el sistema de ventilación que fueron parte de la tesis, el control de la distribución del voltaje ($p = 0.582$), de la distribución de la corriente ($p = 0.672$) y de la frecuencia ($p = 0.615$) se relaciona de una forma moderada con la automatización que brinda el sistema SCADA, lo cual se asocia consistentemente con el aporte de control que brinda la automatización realizada con el sistema SCADA.

- Prueba de ANOVA

Para validar la hipótesis general planteada, se ha propuesto realizar la prueba paramétrica de ANOVA al 95 % de nivel de confianza, que es una prueba que analiza la varianza para así poder comparar grupos asociados a variables cuantitativas; para la aplicación de dicha prueba se asumieron los datos de la potencia distribuida frente a los datos de los parámetros eléctricos: voltaje, corriente y frecuencia, de modo que se llegue a validar que la implementación del sistema SCADA aporta positivamente frente a la distribución de energía eléctrica en el sistema de ventilación.

Tabla 13. *Parámetros eléctricos y potencia distribuida controlada con el sistema de automatización SCADA.*

Potencia distribuida	Voltaje (V)	Corriente (A)	Frecuencia (Hz)
338,6	466	372	48
338,9	467	373	49
338,9	464	374	48

338,8	463	373	47
331,3	466	374	48
331,5	468	376	47
332,1	472	373	49
331,1	470	377	48
341,5	470	377	48
341,6	471	378	49
342,4	473	379	50
341,3	474	378	49
338,9	474	375	49
339,7	475	377	50
339,4	477	378	49
339,2	470	378	48
322	464	371	48
322,3	465	370	48
321	463	371	48
321,1	460	372	48
322,9	462	370	48
323,7	463	371	48
323,8	460	372	48
324,4	459	371	48
323,8	461	371	48
324,7	462	371	48
324,9	461	372	48
325,4	460	374	48
338,4	463	372	48
338,7	464	373	48
338,5	461	374	48
338,4	460	373	48
338,9	469	374	48
339,7	471	375	50
339,6	472	376	49

339,4	472	375	49
338,2	470	376	49
336,3	474	377	49
335,2	473	378	50
335,1	471	377	48
336,8	469	377	50
337,7	470	378	49
337,9	466	379	48
338,8	471	378	49
332,8	470	376	49
332,7	475	377	49
332,4	474	378	49
332,1	473	377	49

Fuente: elaboración propia.

Respecto de la potencia distribuida y el voltaje se obtuvo lo siguiente:

Voltaje

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	1098,917	38	28,919	2,345	,087
Intra-grupos	111,000	9	12,333		
Total	1209,917	47			

Se muestra que se tiene un valor de significancia de 0.087, el cual es mayor que 0.05 (95 % nivel de confianza), por tanto, existe una igualdad entre las medias del parámetro voltaje (μ_v) y la distribución de energía eléctrica en términos de potencia. Respecto de la potencia distribuida y la corriente se obtuvo lo siguiente:

Corriente

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	323,000	38	8,500	2,550	,069
Intra-grupos	30,000	9	3,333		
Total	353,000	47			

Se muestra que se tiene un valor de significancia de 0.069, el cual es mayor que 0.05 (95 % nivel de confianza), por tanto, existe una igualdad entre las medias del parámetro corriente (μ_c) y la distribución de energía eléctrica en términos de potencia.

Respecto de la potencia distribuida y la frecuencia se obtuvo lo siguiente:

Frecuencia

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	23,000	38	,605	1,816	,172
Intra-grupos	3,000	9	,333		
Total	26,000	47			

Se muestra que se tiene un valor de significancia de 0.172, el cual es mayor que 0.05 (95 % nivel de confianza), por tanto, existe una igualdad entre las medias del parámetro frecuencia (μ_f) y la distribución de energía eléctrica en términos de potencia.

Por tanto, al tener las hipótesis planteadas de la siguiente manera:

- H_1 : La automatización del sistema de ventilación (SCADA) relacionado al control de gases presentes en interior mina influye en la óptima distribución de energía eléctrica de la Compañía Minera Raura S.A., 2019 ($\mu_v = \mu_c = \mu_t$).
- H_0 : La automatización del sistema de ventilación (SCADA) relacionado al control de gases presentes en interior mina influye en la óptima distribución de energía eléctrica de la Compañía Minera Raura S.A., 2019 ($\mu_v \neq \mu_c \neq \mu_t$).

Se llega a validar la hipótesis de investigación que evidencia un claro escenario de igualdad de medias poblaciones respecto de la muestra analizada, por tanto:

H₁: La automatización del sistema de ventilación (SCADA) relacionado al control de gases presentes en interior mina influye en la óptima distribución de energía eléctrica de la Compañía Minera Raura S.A., 2019 puesto que aporta en el control adecuado de los parámetros eléctricos de control del sistema de ventilación, lo cual también se evidencia mediante las pruebas de correlación, que evidencian que se tiene un control adecuado de los parámetros eléctricos y de operación del sistema de ventilación mediante el empleo del sistema SCADA, ya que también los parámetros se mantuvieron dentro de los rangos establecidos para generar escenarios de operación adecuada del sistema.

4.2. Discusión de resultados

Se ha llegado a determinar que la automatización realizada mediante la aplicación del sistema SCADA favorece y aporta en la generación de escenarios de mejora de la distribución de energía eléctrica basado en el control que permite dicho sistema de automatización principalmente en los parámetros eléctricos de voltaje, corriente y frecuencia, además de que requiere la necesidad, si bien mínima, de trabajadores capacitados, lo cual también brinda un entorno para generar competencias profesionales acorde a la exigencia del mercado actual en términos tecnológicos, concordando también con lo propuesto por García y Villarreal ¹⁰; el punto a favor del sistema SCADA se da por manejar un lenguaje de operación simple, lo cual concuerda con lo formulado por Pérez-López ⁸, que mencionan que las prestaciones del soporte SCADA favorece a generar entornos del fortalecimiento de interfaces hombre-máquina, donde el sistema consolida un entorno de fácil entendimiento y comunicación, que también es considerada como factor de relevancia por López ⁹ y Valle ¹⁶, de modo que también la generación de datos históricos favorezca al control de procesos para la organización, tal como se ha observado en la presente para así demostrar que la automatización aporta de manera adecuada (positiva) a la distribución de energía eléctrica. Como aporte secundario se observa que también se favorece a la preservación de entornos laborales seguros a nivel de interior mina, de modo que el uso de la tecnología se

orienta en el aseguramiento de la calidad de vida de los trabajadores, concordando también con lo propuesto por el citado autor ⁸. La operación funcional del sistema se da por la activación de alarmas basadas en la detección de la concentración de gases contaminantes en niveles que exceden los parámetros del umbral que se soporta y se tiene normado en espacios confinados; se observa que al consolidar un nivel bajo (que considera el sistema implementado) el sistema controla la ventilación y sus variables de operación (asociado con el motor que es fundamental para la generación del flujo de aire en interior mina), optimizando así la distribución de energía eléctrica por también considerar un trabajo constante de los motores respetando parámetros de calidad, de modo que el nivel de energía permanezca constante en relación a la explotación subterránea la cual genera dichas emisiones, considerando también a gases como el metano (CH₄), monóxido de carbono (CO), hidrógeno (H) y oxígeno (O). Como factores para asegurar la automatización del sistema se llegaron determinar que es necesario considerar a la velocidad del viento, temperatura de los motores y la vibración de los ventiladores respecto de su rotación, lo cual también concuerda con lo propuesto por García y Villarreal ¹⁰, que consideran que para asegurar el control de agentes físicos, químicos y biológicos en procesos industriales se debe considerar al control de dichos parámetros relacionado al sistema de ventilación, así como a los sistemas de ingreso y egreso propiamente del personal (haciendo referencia al uso de equipos de protección personal en razón al manejo de contingencias), además de consolidar a sistemas de monitoreo y de alarma de los sistemas de los grupos electrógenos (asociados a la temperatura de los motores), entre otros factores propios de su estudio; como valor agregado consideran que el aplicar tecnología en ambientes donde se practiquen labores de alto riesgo es más que necesario y potencia la productividad de la organización, de modo que el aporte positivo del sistema SCADA se evidencia como real en términos de favorecer a la organización en términos de productividad energética, no sin antes prever escenarios de monitoreo y control constante que se mantengan documentados en procedimientos de gestión. El monitoreo que el sistema ofrece es en tiempo real respecto de la medición de la concentración de gases en interior mina, sumado al control de las variables de operación óptima; dicha afirmación concuerda con lo formulado por Guzmán ¹¹, que menciona que el sistema SCADA brinda al operador una información amplia y casi instantánea del estado de la red y le permite operar sobre la misma de una manera segura y rápida, generando escenarios de seguridad laboral, además de que la operación

automática permite un tiempo mucho menor para la reposición de servicios, a diferencia de los sistemas totalmente manuales, influyendo mucho esta ventaja en la imagen de la empresa, la cual también se enmarca dentro del enfoque actual del sector eléctrico que persigue la dotación de herramientas físicas y tecnológicas con las cuales la distribución evidencie un incremento en la eficiencia y eficacia, evidentemente esperando un impacto directo sobre los indicadores citados, lo cual ha sido mencionado por Landázuri ¹⁴, sosteniendo de aquel modo escenarios de crecimiento organizacional. El bloque que se tiende por controlar adecuadamente respecto de la automatización de los sistemas de distribución debería ser considerado como un aspecto de calidad de los procesos o servicios, de modo que se aseguren entornos de eficacia y eficiencia, así como de productividad, sumado a que los componentes del sistema SCADA no tienden por ser costosos, concordando con lo propuesto por Aillón ¹⁵, de modo que es posible replicar su uso intensivo a nivel del macroproceso, para así garantizar rapidez, flexibilidad y confiabilidad en el procesamiento de la información que se obtiene de los procesos productivos, aportando indirectamente en términos de costo-beneficio para la totalidad de la organización, lo cual también concuerda con lo propuesto por Gañan y Castañeda ¹⁷. Otro factor que se considera es que mediante el sistema de automatización implementado se logra aumentar la eficiencia en el funcionamiento de los procesos de ventilación y se disminuyen los posibles errores de manipulación por la operación humana ¹⁸, siempre en cuando la arquitectura y filosofía de automatización considere sensores de monitoreo, alarmas, generación de data histórica mediante un canal de comunicación adecuado, así como la consideración de una configuración del sistema de control adecuada favorece a la distribución óptima de energía eléctrica como propósito ¹⁹, generando así una reducción de costos de operación, así como la disminución de la frecuencia de interrupciones y la generación de la confiabilidad por parte de los usuarios, potenciando así la tentativa de alcance de estándares internacionales en términos de eficiencia energética ⁶. De manera complementaria se considera que se deben mantener las vías de ventilación bajo constante mantenimiento y libre de obstáculos que puedan generarle resistencia al caudal de aire que circula en la mina, para consolidar al sistema SCADA como productivo para el área y en consecuencia para la empresa ⁷.

CONCLUSIONES

- a) La automatización del sistema de ventilación mediante el soporte SCADA, relacionado al control de gases presentes en interior mina, influye en la óptima distribución de energía eléctrica de la Compañía Minera Raura S.A., 2019, ya que favorece al control adecuado de los parámetros eléctricos: voltaje ($\mu_v = 0.087$), corriente ($\mu_c = 0.069$) y frecuencia ($\mu_f = 0.172$) asociados a la potencia distribuida (kW), así como se relaciona positiva y moderadamente con el control adecuado de las condiciones de operación del sistema de ventilación (temperatura y vibración del motor de los ventiladores), además de generar interfaces de control a distancia y en tiempo real, lo cual permite escenarios de menos interrupciones en las actividades en interior mina.
- b) Existe una relación positiva y moderada entre la automatización, realizada con SCADA, y los parámetros de control del sistema de ventilación relacionado al control de gases presentes en interior mina de la Compañía Minera Raura S.A., 2019, respecto del control de la temperatura del motor de los ventiladores ($p = 0.644$) y el control de la vibración del mismo ($p = 0.670$), mientras que para el control de la velocidad del viento se tiene una relación insignificante ($p = 0.152$), ya que dicho parámetro es producto del sistema de ventilación y constituye más al control de la lectura de los anemómetros en interior mina, lo cual no se asocia directamente con el control de la distribución de energía eléctrica.
- c) Existe una relación positiva y moderada entre la automatización, realizada con SCADA, de la distribución de energía eléctrica (potencia distribuida) y los parámetros eléctricos: voltaje ($p = 0.582$), corriente ($p = 0.672$) y frecuencia ($p = 0.615$) en el sistema de ventilación relacionado al control de gases presentes en interior mina de la Compañía Minera Raura S.A., 2019.
- d) En relación al control de gases presentes en interior mina, se evidencia por el cotejo de datos emitidos por el sistema SCADA, que se tiene escenarios de un equilibrio adecuado entre las concentraciones de dichos gases a un 99.9 % (ver anexo 13) en espacios confinados regulados por la ventilación controlada, siendo evidente que el aporte del mencionado sistema de automatización (SCADA), en correspondencia a una adecuada distribución de energía eléctrica para con el sistema de ventilación, contribuye en el desarrollo adecuado de actividades y procesos de explotación minera a nivel subterráneo.

RECOMENDACIONES

- a) Evaluar condiciones de alarmas y de contingencias frente al aporte del sistema SCADA en dichos casos.
- b) Sugerir a la organización la instalación de sensores extras que permita un seguimiento del sistema de automatización que represente menos errores en el proceso.
- c) Estimar el aporte económico para la empresa de haber implementado el sistema SCADA en el proceso de ventilación (analizar la relación respecto de la energía consumida).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. RESTREPO, D., RÍOS, S. y JIMÉNEZ, J. *Detección y control de atmósferas explosivas en minas subterráneas de carbón usando programación estructurada*. 14, Medellín: Educación en Ingeniería, 2012, Vol. 7. ISSN: 1900-8260.
2. VARGAS, E. *Ventilación en minas*. Chile: SERNAGEOMIN, 2015.
3. POSITIVA Seguros. *Guía de seguridad para ventilación de minas subterráneas*. Colombia: Positiva Compañía de Seguros S.A., 2017.
4. MINERÍA CHILENA. *Minería Chilena: Información confiable y oportuna*. [En línea] EDITEC, 4 de diciembre de 2014. [Citado el: 31 de agosto de 2019.] <http://www.mch.cl/informes-tecnicos/ventilacion-subterranea-adequandose-grandes-proyectos-mineros/>.
5. ORGANISMO SUPERVISOR DE LA INVERSIÓN EN ENERGÍA Y MINERÍA. *La industria de la electricidad en el Perú*. Lima: OSINERGMIN, 2016. ISBN: 978-612-47350-0-4.
6. ÁLVAREZ, O., BRAVO, M. y BRITO, Y. *Automatización de la red de 34.5 kV en la provincia de Villa Clara*. 3, s.l.: Ingeniería Energética, 2012, Vol. XXXIII. ISSN: 1815-5901.
7. CÓRDOBA, C. y MOLINA, J. *Caracterización de sistemas de ventilación en minería subterránea*. 29, Medellín: Ciencias de La Tierra, 2011. ISSN: 0120-3630.
8. PÉREZ-LÓPEZ, E. *Los sistemas SCADA en la automatización industrial*. 4, Costa Rica: Tecnología en Marcha, 2015, Vol. 28.
9. LÓPEZ, G. *Desarrollo libre de sistemas SCADA*. 3, León: Internacional de Investigación, 2013, Vol. 5. ISSN: 1948-2353.
10. GARCÍA, L. y VILLARREAL, E. *Implementación de un sistema SCADA para la automatización de un laboratorio de biotecnología de nivel de seguridad biológica* 3. 14, Bogotá: Umbral Científico, 2009. ISSN: 1692-3375.
11. GUZMÁN, R. *Sistemas SCADA en distribución de energía eléctrica*. Quito: Escuela Politécnica Nacional, 1993.

12. LANDÁZURI, C. *Diseño e implementación de un sistema piloto para la automatización de alimentadores de la red de distribución de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A.* Cuenca: Universidad de Cuenca, 2016.
13. CAMPILLOS, A. *Optimización y modelización del circuito de ventilación de una mina subterránea.* 2015: Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía, 2015.
14. LANDÁZURI, C. *Diseño e implementación de un sistema piloto de automatización de alimentadores de la red de distribución de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A.* Cuenca: Universidad de Cuenca, 2016.
15. AILLÓN, M. *Diseño de un sistema SCADA de control automático de temperatura y humedad para los lechos de producción de humus de lombriz en la empresa Bioagrotecsa Cía. Ltda.* Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2010.
16. VALLE, A. *Sistema SCADA basado en un ambiente de programación Open Source.* Envigado: Universidad EIA, 2019.
17. GAÑAN, L. y CASTAÑEDA, J. *Diseño e implementación de un sistema SCADA para una estación multivariable didáctica.* Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira, 2016.
18. VILLACIS, A. y TIPÁN, E. *Diseño e implementación de un sistema SCADA y sincronismo de una planta de generación eléctrica con tres motores MTU de 1.2 MW en el distrito Amazónico.* Sangolqui: Escuela Politécnica del Ejército, 2015.
19. ÁLVAREZ, O. *Automatización de la red de 34.5 kV en la provincia de Villa Clara.* 3, s.l.: Ingeniería Energética, 2012, Vol. XXXIII. ISSN: 1815-5901.
20. RODRÍGUEZ, A. *Sistemas SCADA.* México D.F.: Marcombo, 2007.
21. ROMERO, H. *Máster Interuniversitario en Seguridad de las TICs (MISTIC).* Cataluña: Universidad Abierta de Cataluña, 2018.
22. CIRCUTOR. *Distribución de la energía eléctrica.* Barcelona: CIRCUTOR, 2018. C2S021-01.
23. MOELLER, B. *Manual de esquemas: Automatización y distribución de energía.* Barcelona: Parlamón, 2006.
24. GALVÁN, L. *Programación y Supervisión de Planta Piloto Utilizada como Plataforma de Ensayo de Controladores Diseñados en MATLAB.* España: e-REdING, 2016.

25. RAMÍREZ, S. *Redes de distribución de energía*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia, 2004. 958-9322-86-7.
26. SERNA, J. *Planeación del mantenimiento de distribución*. Colombia: Grupo EPM, 2018
27. HERNÁNDEZ-SAMPIERI, R., FERNÁNDEZ-COLLADO, C. y BAPTISTA-LUCIO, P. *Metodología de la investigación*. México D.F.: McGraw-Hill, 2014. ISBN: 978-1-4562-2396-0.
28. CEGARRA, J. *Metodología de la investigación científica y tecnología*. Madrid: Díaz de Santos, 2011. ISBN: 978-84-9969-027-8.
29. TRIOLA, M. *Estadística*. México D.F.: Pearson Educación, 2012. ISBN: 978-970-26-1287-2.

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia.

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Métodos
<p>Problema general</p> <p>¿Cómo la automatización del sistema de ventilación (SCADA) relacionado al control de gases presentes en interior mina influye en la óptima distribución de energía eléctrica de la Compañía Minera Raura S.A., 2019?</p> <p>Problemas específicos</p> <p>*¿Cuál es la relación de la automatización, realizada con SCADA, con los parámetros de control del sistema de ventilación relacionado al control de gases presentes en interior mina de la Compañía Minera Raura S.A., 2019?</p> <p>*¿Cuál es la relación de la automatización, realizada con SCADA, con los parámetros eléctricos (voltaje, corriente y frecuencia) asociados al sistema de ventilación relacionado al control de gases presentes en interior mina de la Compañía Minera Raura S.A., 2019?</p>	<p>Objetivo general</p> <p>Determinar cómo la automatización del sistema de ventilación (SCADA) relacionado al control de gases presentes en interior mina influye en la óptima distribución de energía eléctrica de la Compañía Minera Raura S.A., 2019.</p> <p>Objetivos específicos</p> <p>*Determinar la relación entre la automatización, realizada con SCADA, y los parámetros de control del sistema de ventilación relacionado al control de gases presentes en interior mina de la Compañía Minera Raura S.A., 2019.</p> <p>*Determinar la relación de la automatización, realizada con SCADA, y los parámetros eléctricos (voltaje, corriente y frecuencia) asociados al sistema de ventilación relacionado al control de gases presentes en interior mina de la Compañía Minera Raura S.A., 2019.</p>	<p>Hipótesis de investigación</p> <p>H₁: La automatización del sistema de ventilación (SCADA) relacionado al control de gases presentes en interior mina influye en la óptima distribución de energía eléctrica de la Compañía Minera Raura S.A., 2019 puesto que aporta en el control adecuado de los parámetros eléctricos de control del sistema de ventilación ($\mu_v = \mu_c = \mu_t$).</p> <p>Hipótesis nula</p> <p>H₀: La automatización del sistema de ventilación (SCADA) relacionado al control de gases presentes en interior mina no influye en la óptima distribución de energía eléctrica de la Compañía Minera Raura S.A., 2019 puesto que no aporta en el control adecuado de los parámetros eléctricos de control del sistema de ventilación ($\mu_v \neq \mu_c \neq \mu_t$).</p>	<p>Variable independiente</p> <p>X = Automatización del sistema de ventilación para el control de gases de interior mina (SCADA).</p> <p>X₁ = potencia distribuida.</p> <p>X₂ = T° del motor.</p> <p>X₃ = vibraciones del motor.</p> <p>X₄ = velocidad del viento.</p> <p>Variable dependiente</p> <p>Y = Mejora de la distribución de energía eléctrica.</p> <p>Y₁ = voltaje (V).</p> <p>Y₂ = corriente (A).</p> <p>Y₃ = frecuencia (Hz).</p>	<p>Método general</p> <p>Hipotético-deductivo.</p> <p>Método específico</p> <p>Observacional.</p> <p>Tipo de investigación</p> <p>Aplicado.</p> <p>Nivel de investigación</p> <p>Explicativo.</p> <p>Diseño de investigación</p> <p>No experimental de corte transversal.</p> <p>Población</p> <p>Sistema de ventilación a nivel de interior mina con SCADA considerando sus parámetros de control.</p> <p>Muestra</p> <p>Condiciones de ventilación automatizada del troncal 1 respecto de los parámetros eléctricos (V, A, Hz) y la distribución de potencia (kW).</p>

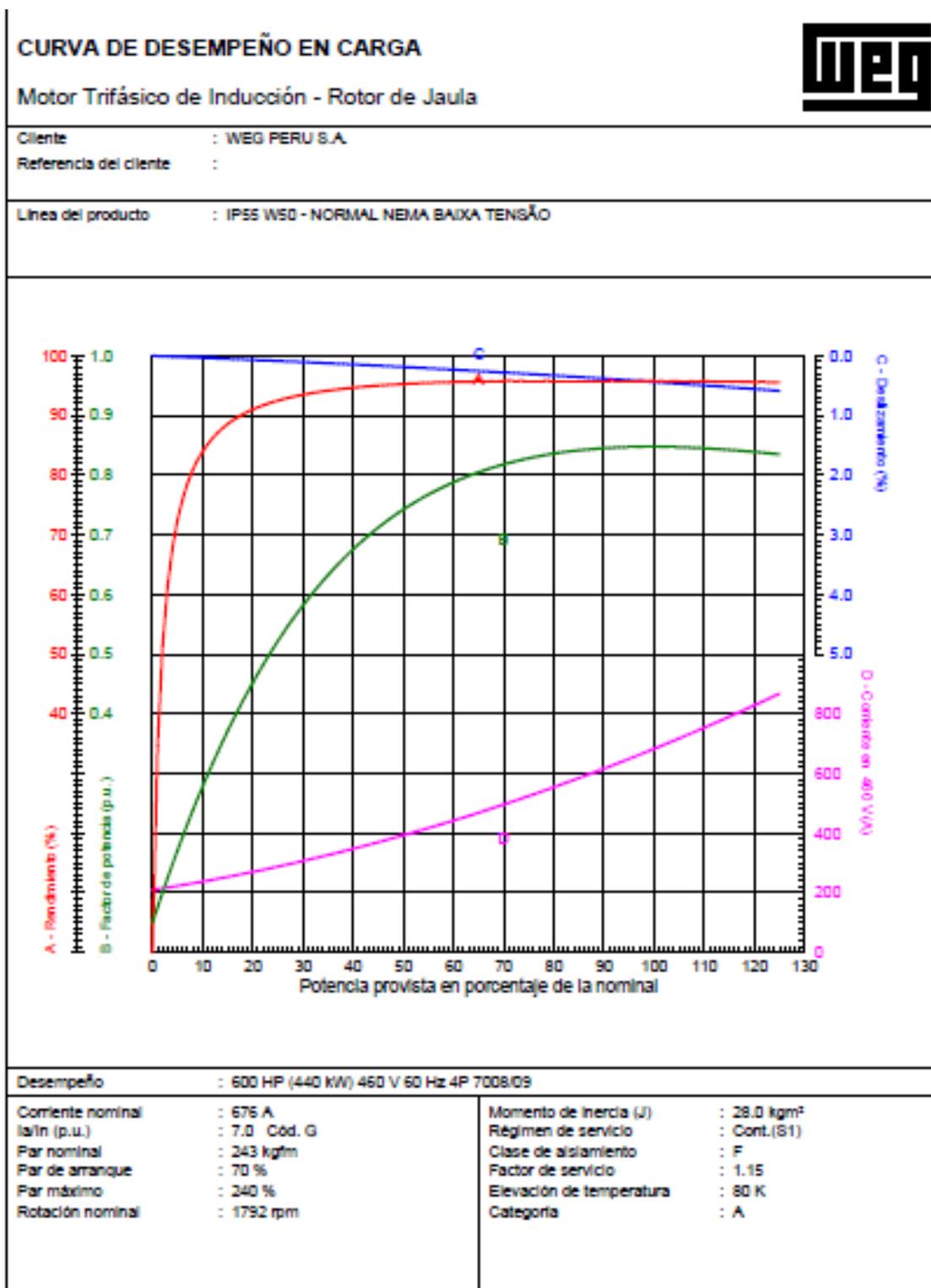
Anexo 2. Especificaciones del motor trifásico – rotor de jaula.

HOJA DE DATOS						
Motor Trifásico de Inducción - Rotor de Jaula						
Cliente	: WEG PERU S.A.					
Referencia del cliente	:					
Línea del producto	: IP55 W50 - NORMAL NEMA BAIXA TENSÃO					
Carcasa	: 7008/09	Tiempo de rotor bloqueado	: 42 s (caliente) 76 s (frío)			
Potencia	: 600 HP (440 kW)	Elevación de temperatura ⁴	: 80 K			
Polos	: 4	Régimen de servicio	: Cont.(S1)			
Frecuencia	: 60 Hz	Temperatura ambiente	: -20 °C hasta +40 °C			
Tensión nominal	: 480 V	Altitud	: 4800 m			
Corriente nominal	: 678 A	Grado de protección	: IP55			
Corriente de arranque	: 4732 A	Método de enfriamiento	: IC411 - TEFC			
Ia/In (p.u.)	: 7.0 Cód. G	Forma constructiva	: F-1			
Corriente en vacío	: 210 A	Sentido de giro ¹	: Ambos			
Rotación nominal	: 1792 rpm	Nivel de ruido ²	: 82.0 dB(A)			
Deslizamiento	: 0.44 %	Método de arranque	: Convertidor			
Par nominal	: 243 kgfm	Peso ³	: 4366 kg			
Par de arranque	: 70 %	Categoría	: A			
Par mínimo	: 55 %					
Par máximo	: 240 %					
Clase de aislamiento	: F					
Factor de servicio	: 1.15					
Momento de inercia (J)	: 28.0 kgm ²					
Potencia	Empezar	50%	75%	100%	Tipo de carga	: Par constante
Rendimiento (%)	-	95.3	95.8	95.8	Par de la carga	: 240 kgfm
Factor de potencia	0.14	0.75	0.82	0.85	Inercia de la carga (J=GD ² /4)	: 12.3 kgm ²
Límite de funcionamiento con el convertidor	30 Hz hasta 60 Hz (Par constante): 240 kgfm			Tensión de pico fase-fase máxima	<= 2000 V	
				dV/dt	<= 6500 V/μs	
				Rise time	>= 0,1 μs	
Tipo de rodamiento / holgura	Delantero	Trasero	Esfuerzos en la base			
	6328-C3	6322-C3	Tracción máxima	: 953 kgf		
Intervalo de lubricación	4079 h	4500 h	Compresión máxima	: 5309 kgf		
Cantidad de lubricante	93 g	60 g				
Tipo de lubricante	MOBIL POLYREX EM					

Anexo 3. Especificaciones del motor trifásico de inducción.

HOJA DE DATOS			
Motor Trifásico de Inducción - Rotor de Jaula			
Cliente	: WEG PERU S.A.		
Referencia del cliente	:		
Línea del producto	: IP55 W50 - NORMAL NEMA BAIXA TENSÃO		
<p>Notas: MOTOR WEG NEMA W50 TOQRUE CONSTANTE</p> <p>Includes: 06 RTDS, PT100 3 Leads - 02 per phase 02 RTDS, PT100 3 Leads - 01 per bearing 01 Space heater, 110VAC Suitable for VFD, From 30 to 60 Hz</p>			

Anexo 4. Diagrama de la representación de la curva de desempeño en términos de carga del motor trifásico de inducción.



Anexo 5. Arquitectura del diseño del troncal 1 respecto del sistema de ventilación.

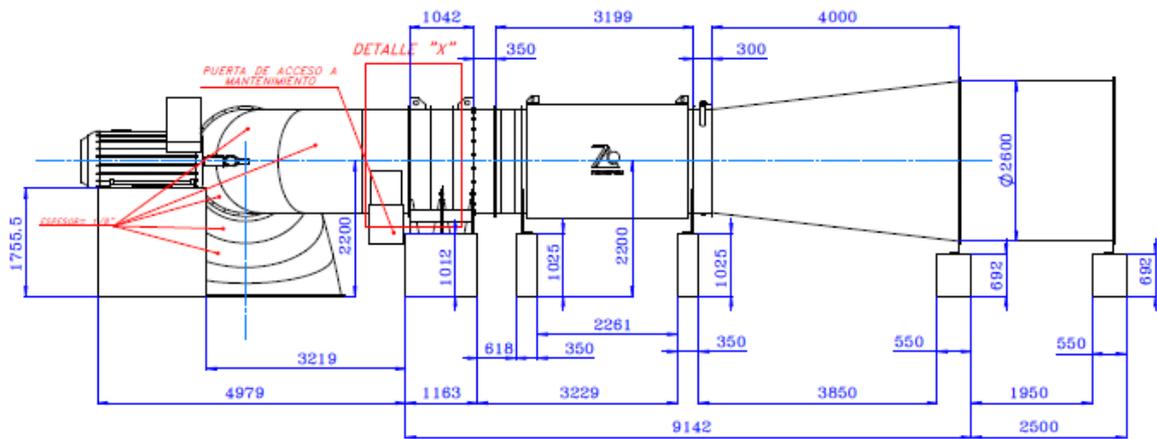
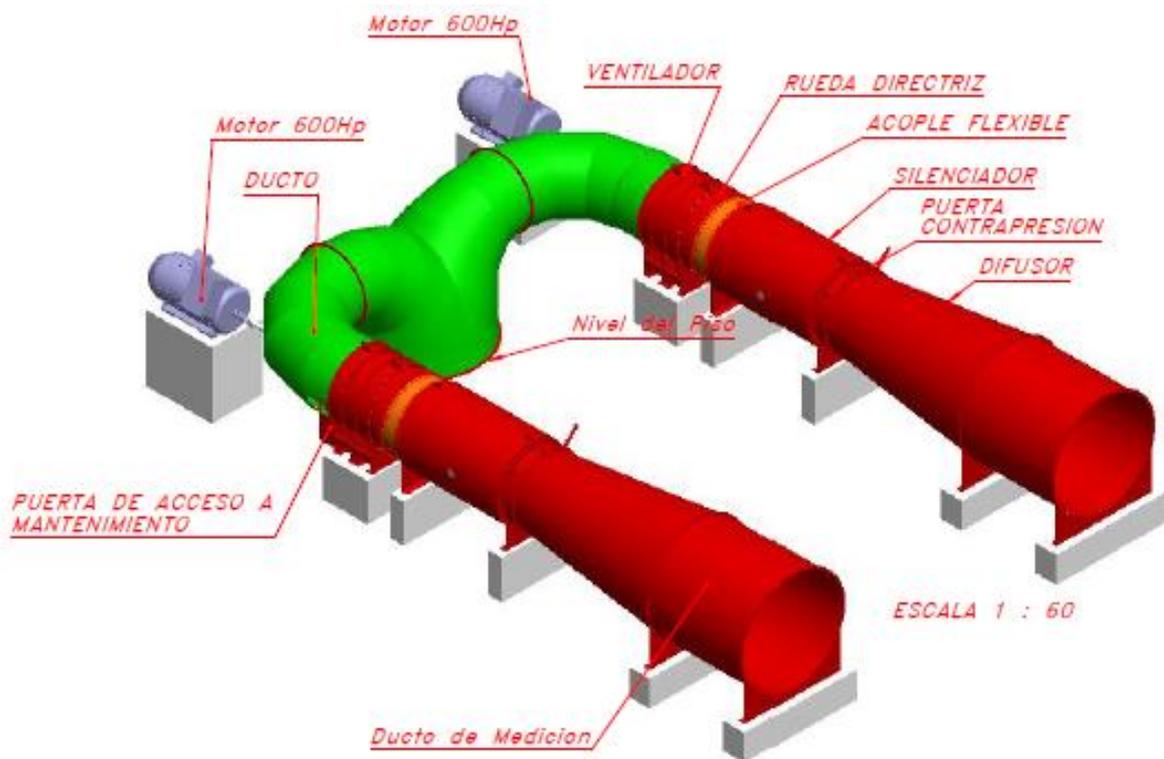


Diagrama de representación frontal del troncal 1.



Representación 3D del sistema de troncales con sus componentes asociados a la ventilación.

Anexo 6. Sistema de automatización con SCADA.

Para el inicio del análisis de la consideración del soporte SCADA como sistema de automatización y propiamente su aporte en la optimización de la distribución de energía eléctrica mediante su adecuado control, se tiene al alcance y propósito por la cual se ha implementado en el sistema de ventilación, la cual es:

- En el proyecto correspondiente a la Minera Raura S.A. se requiere monitorear Gases NO₂, CO, O₂, CO₂ y Caudal de Aire, provenientes de sus galerías, túneles, pozos, chimeneas, cámaras, así como el Control de los Ventiladores Principales que se encuentran en la superficie.

Se considera también que la ventilación en una mina subterránea es el proceso mediante el cual se hace circular por el interior de la misma el aire necesario para asegurar una atmósfera respirable y segura para el desarrollo de los trabajos. De tal modo, es necesario establecer una circulación de aire dentro de una mina subterránea por las siguientes razones:

- a) Es necesario asegurar un contenido mínimo de oxígeno en la atmósfera de la mina para permitir la respiración de las personas que trabajan en su interior (según normativa asegurar un nivel de 20.9 % a nivel de interior mina ³).
- b) En el interior se desprenden diferentes tipos de gases, según el mineral a explotar y la maquinaria utilizada. Estos gases pueden ser tóxicos, asfixiantes y/o explosivos, por lo que es necesario diluirlos por debajo de los límites legales establecidos en cada país
- c) A medida que aumenta la profundidad de la mina la temperatura aumenta. El gradiente geotérmico medio es de 1° cada 33 m. Adicionalmente, los equipos y máquinas presentes en el interior contribuyen a elevar la temperatura del aire. En este caso la ventilación es necesaria para la climatización de la mina

La ventilación en este caso es aspirante ya que el ventilador succiona el aire del interior de la mina (o la tubería) y lo expulsa al exterior. El aire limpio entra por una (o varias) de las entradas de la mina y el aire viciado tras recorrer la mina es aspirado por el ventilador principal.

A partir de aquello se procedió a generar la arquitectura del sistema de control:

- a) Controlador de procesos:

Se consideró un Controlador de Procesos PLCs por Sistema de Ventilación Principal, la cual asume al troncal 1 según lo determinado en la muestra representativa, ubicado en su respectivo gabinete TC-001 en las salas eléctricas asociadas. Dicho Controlador maneja señales provenientes de los instrumentos de campo, señales discretas (24 Vdc) y señales análogas (4 – 20 mA). Los PLCs instalados controlan el arranque y parada de los equipos asociados, así como también los lazos analógicos, los cuales obedecen a referencias o set-points (puntos de consigna) suministrados, ya sea por operador o proveniente de cálculos internos. Finalmente, los Centros de Controles de Motores fueron integrados al controlador de procesos a través de un protocolo de comunicación TCP/IP.

b) Sistema de supervisión:

La interfaz del sistema de control con el operador corresponde a un software de gestión llamado Ignition de Inductive Automation para el SCADA y Connected Components Workbench de Rockwell Automation para el HMI. Este Sistema de Supervisión nuevo, que consolida la automatización del Servidor, Estación de Ingeniería y Estaciones de Trabajo, a ser instalado en Casa Fuerza y Oficina de Mantenimiento, permite el control y monitoreo de los equipos; además de que normalmente es empleado por el operador del área para la administración de la información y ajuste de parámetros del Sistema de Ventilación Principal.

Es importante saber que la estación de ingeniería permanente fue reemplazada por una PC portátil (Laptop) con el software necesario para tales fines, el acceso será previa identificación y permiso correspondiente para realizar la programación de los controladores, la programación y modificación del software de supervisión, el mantenimiento, el backup del sistema y la base de datos del proceso de la planta.

Así también, desde las estaciones de trabajo es posible visualizar y monitorear las señales analógicas, el estado de los diferentes equipos (Funcionando/Parada/Falla), el estado de activación de los enclavamientos y alarmas, modificar setpoints y parámetros de cada arrancador o equipo electrónico (VFD, medidores de energía, transmisores, etc.) gestionados por el controlador PLC, según corresponda en cada caso.

c) Sistema de comunicación

El sistema de comunicaciones entre el Sistema de Control y Supervisión Centralizado, la estación de operación y servidor están basados en una red Ethernet TCP/IP usando switches industriales con una velocidad de 10/100 Mbps. Según se puede verificar en la arquitectura de control. La comunicación entre el controlador de procesos y los Centros de Control de Motores (en adelante CCM) estará basado en Protocolo de comunicación industrial Ethernet TCP/IP y para los equipos de monitoreo y gestión protocolo de comunicación Modbus RTU.

d) Base de datos

La base de datos y de históricos contará con un único servidor para almacenamiento de aplicaciones, base de datos y registro de históricos el cual estará ubicado en la sala de servidores. Será configurada de forma tal que almacene los datos de los analizadores de gases, corriente de motores, temperatura, vibración del sistema, así como las alarmas e históricos generados. Así mismo se tendrá acceso a la información solicitada desde cualquier punto remoto, usando programas de uso masivo (Excel, Visual Basic, Access etc.), previo direccionamiento y permisos necesarios.

Tabla de anexo. *Filosofía de control a la cual se orienta el sistema SCADA.*

	Monitoreo de Gases NO ₂ , CO, O ₂ , CO ₂ , Caudal de Aire.
	Control y monitoreo de todos los motores de los ventiladores con variadores de velocidad a través del CCM de la sala eléctrica .
	Considerar todos los enclavamientos (interlocks) necesarios para el control de los ventiladores en casos propios del proceso o en casos de emergencia
	Considerar todos los criterios y las buenas prácticas necesarias para que el Sistema de Control tenga un óptimo rendimiento .
Generalidades de control	Se considera como secuencia de arranque y parada de motores al evento consecutivo de encender y/o apagar los motores, en forma manual o automática ya sea en modo local o remoto, en forma secuencial y bajo criterios de seguridad .
	Para realizar una secuencia de arranque es necesario que todas las condiciones de seguridad, enclavamiento y producción del nuevo sistema se cumplan, a fin de poder realizar un arranque del sistema sin problema alguno. Condición previa para el arranque es que todos los equipos involucrados se encuentren detenidos y en la medida de lo posible vacíos,

con excepción de los equipos considerados críticos. Además, toda la instrumentación asociada al sistema deberá estar encendida y lista para operar.

La secuencia de parada, es una secuencia programada, la cual garantiza la parada de todos los equipos del sistema. Además, garantiza que todos los equipos queden completamente libres y sin carga para un próximo arranque.

En caso de emergencia el botón de parada de emergencia tendrá prioridad por sobre el modo en que se encuentre el control.

Fuente: elaboración propia.

e) Selección automática:

La selección *Auto* es usada cuando se desea arrancar y detener un equipo de manera automática por decisión del sistema de control sin intervención del operador. Un ejemplo típico sería la operación automática de los sistemas de ventilación principales en el cual, en base a una secuencia lógica programada y según los horarios de trabajo de lunes a domingo, el sistema de control decide pararlo o arrancarlo, así como también variar la velocidad de giro (frecuencia) desde un punto de vista de seguridad, trabajo en interior mina y ahorro de energía. La selección *Manual* entrega control total al operador. El equipamiento responde a señales de comando provenientes del panel local de operación o bien desde el sistema de control centralizado ubicado en el Control Room.

Cabe mencionar que el modo *Local/Remoto*, cuya selección se realiza mediante un selector ubicado en el cubículo de cada equipo en el centro de control de motores, tiene mayor prioridad sobre la selección *Auto/Man*, la cual se realiza en el panel de control en forma remota solamente. Esto quiere decir que, si se requiere someter al equipo a mantenimiento, éste debe ser puesto en modo *Local*, quedando inhibida automáticamente la selección *Auto/Man* en panel de control remoto y el sistema de control centralizado en el Control Room, y el equipo es controlado absolutamente desde las botoneras locales en campo (*Start/Stop*, *Potenciómetro* y *Parada De Emergencia*). Impidiendo de esta forma las partidas/paradas indeseadas durante el servicio. Para el troncal 1 se emplea los siguientes equipos de selección *Auto/Man* (que significa la relación automática/manual):

- 2018-FA-101-MR Ventilador de 600 HP en Sistema de Ventilación – Troncal 1.
- 2018-FA-102-MR Ventilador de 600 HP en Sistema de Ventilación – Troncal 1.

Estos equipos son controlados manualmente por el operador sólo desde el *Control Room* y controlados automáticamente por el sistema en modo *Auto*, atendiendo a señales de proceso o secuencias lógicas programadas).

f) Selección *Local/Remoto*

En operación *Remoto*, el equipo puede ser arrancado o detenido remotamente desde el panel de control en el gabinete de PLC (HMI) o bien desde el sistema de control centralizado (SCADA). En operación *Local*, el equipo puede ser arrancado o apagado desde una botonera local ubicada en campo preferentemente cercana al equipo a comandar. Considera a los siguientes equipos:

- 2018-FA-101-MR Ventilador de 600 HP en Sistema de Ventilación – Troncal 1.
- 2018-FA-102-MR Ventilador de 600 HP en Sistema de Ventilación – Troncal 1.

Es necesario considerar aquí al proceso metodológico en términos de aporte científico a la cual aplica la filosofía de control mencionada y asociada al SCADA en términos de automatización para así generar un escenario de optimización de la distribución de energía eléctrica; dicho proceso identificado mediante la observación consolida los siguientes parámetros como resultado de la implementación del sistema de automatización:

- a) Los equipos que lo permitan son comandados remotamente o localmente dependiendo de la posición de su selector *Local/Remoto* ubicada en el arrancador del centro de control de motores ubicado en la sala eléctrica.
- b) En modo *Local*, botones pulsadores de campo Arranque/Parada puede ser usados para operar el equipo especificado.
- c) En modo *Remoto*, las botoneras/pulsadores de campo son deshabilitados.
- d) Por razones de seguridad, la orden de campo *Parada De Emergencia* siempre está disponible, donde sea.
- e) El cambio de modo *REMOTO A LOCAL*, en el selector debe parar el equipo.
- f) El permisivo y enclavamiento de proceso permanecen deshabilitados en modo *Local*.
- g) El enclavamiento de seguridad o protección del equipamiento permanecen habilitados todo el tiempo.

Además de que el sistema de control, continuamente brinda reportes de:

- a) Funcionalidad de los motores.
- b) Detención de los motores.
- c) Variabilidad de la motorización entre lo local y remoto.
- d) Fallas de sobre carga y fallas a tierra.
- e) Cubículos energizados.
- f) Variabilidad de la funcionalidad.
- g) Fallas de los variadores.

De tal manera que se opte por el garantizar posibles fallas asociadas a lo siguiente:

- a) Cierres de enclavamientos de seguridad y protección de equipamiento.
- b) Cierres de enclavamientos de proceso.
- c) Cambio de modo *Remoto* a *Local*.

Adicionalmente, se programa en el PLC un registrador de tiempo de funcionamiento para cada uno de los equipos por razones de mantenimiento. Ello con la finalidad de que los motores de 600 HP y los ventiladores puedan trabajar de manera alternada de ser el caso, permitiendo un desgaste uniforme en los motores.

g) Enclavamientos y Permisivos

En el CCM, donde se encuentran los arrancadores, solo se ubicarán lámparas (pilotos) que indicarán el estado del Motor, parada de emergencia, selector *Local* – *Remoto*. En general, el sistema de control está diseñado para evitar sobre calentamiento del bobinado de las fases del motor, así como también alta vibración en los rodamientos de los ventiladores. A continuación, se detalla los enclavamientos y permisivos para cada una de los ventiladores, asociados a los equipos correspondientes al troncal 1 y mencionados anteriormente.

TAG de Equipo	Enclavamiento	P&ID
2018-FA-101-MR	VAH-101	GYS-RAU04-09-100
2018-FA-101-MR	TAH-101A, TAH-101B, TAH-101C, TAH-101D, TAH-101E, TAH-101F, TAH-101G, TAH-101H	GYS-RAU04-09-100

Cuadro que muestra la codificación del enclavamiento correspondiente a los equipos del troncal 1.

h) Variables de proceso monitoreadas

Dentro de las principales variables a monitorear podemos mencionar la temperatura, vibración y concentración de gases (ppm y/o % Vol.). Se deberá almacenar para monitoreo las horas de funcionamiento de los motores y sus principales variables como son la señal del térmico, encendido/apagado, motor energizado y funcionando. En los motores que cuenten con un sistema de medición de energía se monitorearán las principales variables eléctricas del sistema. Las siguientes variables de proceso serán continuamente monitoreadas:

TAG	Descripción	P&ID
AI-101	Indicación de PPM de NO ₂ Sistema de Ventilación Troncal 1	GYS-RAU04-09-100
AI-102	Indicación de PPM de CO Sistema de Ventilación Troncal 1	GYS-RAU04-09-100
AI-103	Indicación de PPM de O ₂ Sistema de Ventilación Troncal 1	GYS-RAU04-09-100
AI-104	Indicación de PPM CO ₂ Sistema de Ventilación Troncal 1	GYS-RAU04-09-100
SI-101	Indicación de Velocidad de Aire Sistema de Ventilación Troncal 1	GYS-RAU04-09-100

Cuadro de las principales variables e indicadores del proceso que son monitoreadas respecto del troncal 1.

Se observa que los indicadores se tienden por registrar en concentración de ppm para cada gas que haya sido identificado en interior mina, además de que la velocidad del aire guarda relación respecto del flujo necesario para dispersar dicha atmósfera, de modo que represente ser peligrosa.

i) Alarmas

Las alarmas producidas por los motores de los ventiladores tales como, temperatura alta, vibración alta, deberán ser adquiridas mediante la integración de los CCM al Sistema de Control (por protocolo de comunicación Modbus RTU).

TAG	Descripción	P&ID
AAH-101	Nivel Alto de PPM de NO ₂ - Sistema de Ventilación Principal Troncal 1	GYS-RAU04-09-100
AAHH-101	Nivel muy Alto de PPM de NO ₂ - Sistema de Ventilación Principal Troncal 1	GYS-RAU04-09-100
AAH-102	Nivel Alto de PPM de CO - Sistema de Ventilación Principal Troncal 1	GYS-RAU04-09-100
AAHH-102	Nivel muy Alto de PPM de CO - Sistema de Ventilación Principal Troncal 1	GYS-RAU04-09-100
AAL-103	Nivel Bajo de % Vol. de O ₂ - Sistema de Ventilación Principal Troncal 1	GYS-RAU04-09-100
AAH-103	Nivel Alto de % Vol. de O ₂ - Sistema de Ventilación Principal Troncal 1	GYS-RAU04-09-100
AAH-104	Nivel Alto de PPM de CO ₂ - Sistema de Ventilación Principal Troncal 1	GYS-RAU04-09-100
AAHH-104	Nivel muy Alto de PPM de CO ₂ - Sistema de Ventilación Principal Troncal 1	GYS-RAU04-09-100
SAL-101	Nivel Bajo de Velocidad de Aire - Sistema de Ventilación Principal Troncal 1	GYS-RAU04-09-100

Cuadro que presente la configuración de las alarmas asociada al control automatizado en el troncal
1.

Se observa que consideran una escala de evaluación entre bajo, alto y muy alto respecto de la concentración de gases en interior mina, así como se complementa por el flujo de aire, asumiendo términos de presión, de modo que desde ya dichos parámetros son consolidados en el sistema, asegurando calidad y eficacia. El accionar de los ventiladores en términos de una concentración alta o muy alta de contaminantes ocupacionales hará que éstos se accionen en base a la codificación mostrada, así como un nivel bajo ayuda a reducir directamente los valores de consumo energético puesto que los ventiladores se asocian a una nula acción.

De manera complementaria, se tiene a la especificación técnica del sistema de ventilación principal, lo cual se muestra en la tabla siguiente:

Tabla de anexo. *Especificaciones técnicas del sistema de ventilación.*

Fabricante:	Tomocorp S.A.C.
Marca/modelo	AIRMAX/VAV-66-30-1750-2-03
Tipo	Ventilador Axial
Especificaciones del Ventilador	
Caudal	70.7881 m ³ /s

Presión Estática	3799.44	Pa
Temperatura del Aire	21	°C
Densidad del Aire	0.7404	kg/m ³
Velocidad del ventilador	1792	rpm
Diámetro del cilindro	1676.4	mm
Diámetro de la masa	762	mm
Potencia nominal del motor	440	kW
Especificaciones del motor		
Potencia nominal	440	kW
Voltaje/Fase/Frecuencia	460/3/60	V/-/Hz
Número de Polos	4	-
Velocidad a plena carga	1792	rpm
Relación Torque Máximo	2.4	-
Clase de aislamiento	F	-
Factor de potencia	50%/75%/100%	0.75/0.82/0.85
Eficiencia	50%/75%/100%	95.3/95.8/95.8
Corriente de arranque	4732	A
Corriente a plena carga	676	A
Corriente de rotor bloqueado	4732	A
Máxima T° bobinado	115	°C
Máxima T° rodamiento	85	°C
Potencia de calentadores	250	W
Voltaje/Fase/Frecuencia	240/2/60	V/-/Hz

Fuente: elaboración propia.

A partir del dimensionamiento presentado se coteja lo propuesto para el arranque del sistema de ventiladores con el sistema SCADA:

a) Reconocimiento de dispositivos de control y monitoreo:



Placa de características del ventilador.



Placa de características del motor eléctrico.

CASETA	CODIGO VARIADOR	CODIGO TABLERO VIBRACION	POSICION
RB-01	TBC-077	TM-017	1
	TBC-076	TM-018	2

Ubicación de tableros eléctricos de arranque y control.

TEMPERATURA DE DEVANADOS DE MOTOR			RODAMIENTO DELANTERO MOTOR	RODAMIENTO POSTERIOR DE MOTOR		RODAMIENTO DELANTERO VENTILADOR	RODAMIENTO POSTERIOR VENTILADOR
CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8

Controlador CTTS – Canales de Lectura.

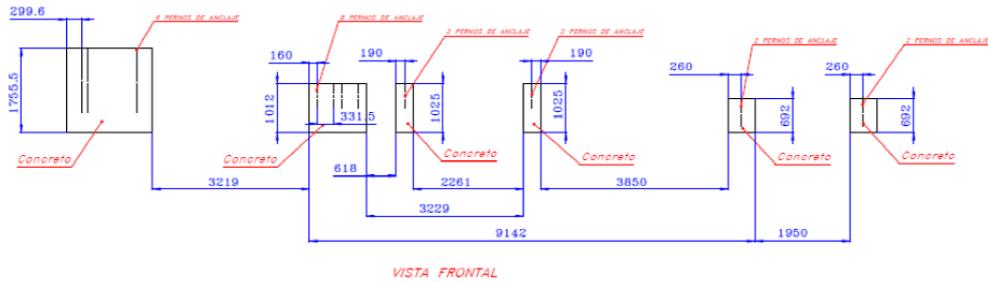


Tablero de variador de velocidad del viento.

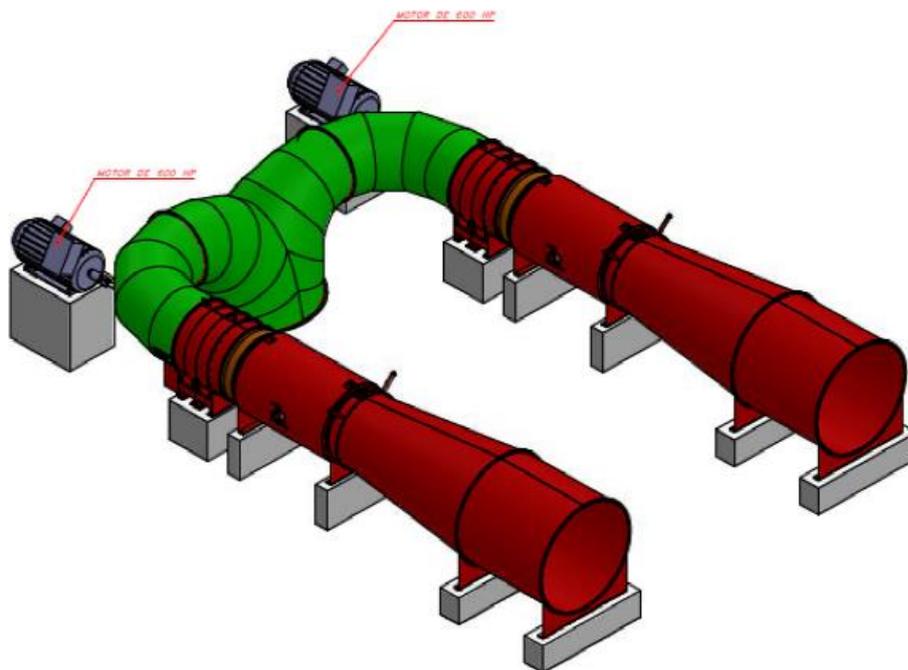


Tablero de control de vibración.

- b) Equipos de monitoreo (ver complemento en el anexo 6)
- a. Panel de variador: controla los datos de corriente, frecuencia y rpm.
 - b. Paneles CTT8 (control de temperatura): controla hasta 8 canales de comunicación interconectadas y que son manejados en el panel de control; su calibración se da a 60°C y la parada de la máquina se da a 70°C.
 - c. Switch de vibración: mide la vibración del sistema de ventilación en unidades de mm/s, la cual debe ser menor que 6 mm/s.
 - d. Analizador de energía: toma datos de tensión, corriente, potencia, cos phi, potencia activa; la tensión eléctrica debe mantenerse dentro del rango de 440-480 V.



Vista frontal de la distribución del sistema de ventilación del troncal 1.



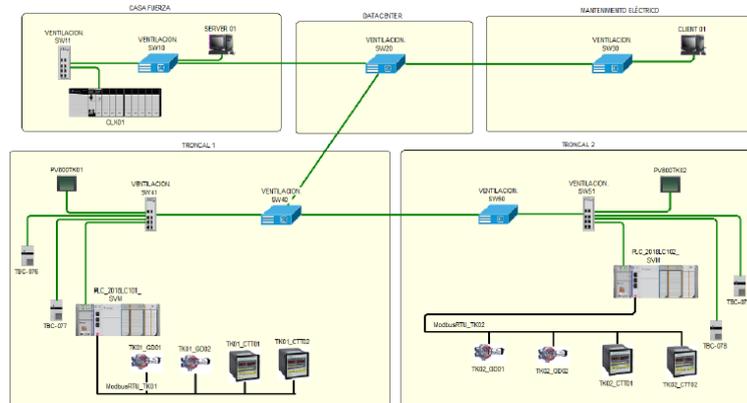
Representación de los troncales, a los cuales fue acondicionado el sistema de ventilación.

Se presentaron en las figuras anteriores a la diagramación de los sistemas de ventilación, así como su consideración respecto de su acción en los troncales de interior mina; se complementan en información por lo presentado en el anexo 4 y 5.

c) Operaciones del sistema SCADA:

El sistema de control permite visualizar en tiempo real los datos de temperatura, vibración, velocidad del aire, así como monitorear y controlar los ventiladores del sistema de ventilación (valga la redundancia):

- a. Arquitectura específica del sistema SCADA, que asume a la red del sistema de monitoreo de gases, velocidad del aire y control de ventiladores.

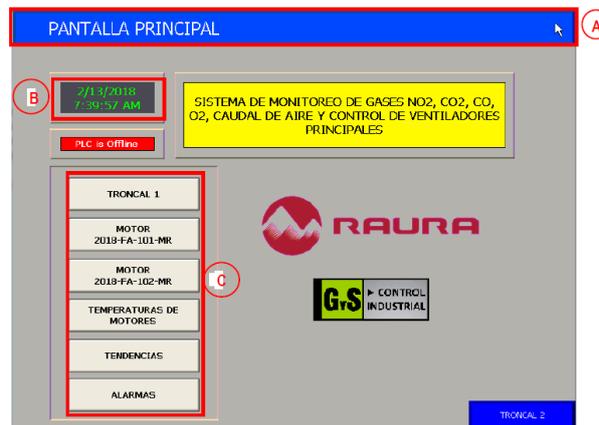


Arquitectura de la red SCADA.

Consolidad a los siguientes equipos: el servidor primario IGNITION, la estación de operación del troncal 1, el ControlLogix L73 V20.1, el CompactLogix L33R V20.1

- b. Pantalla de supervisión

Se muestra a continuación el detalle de la pantalla.

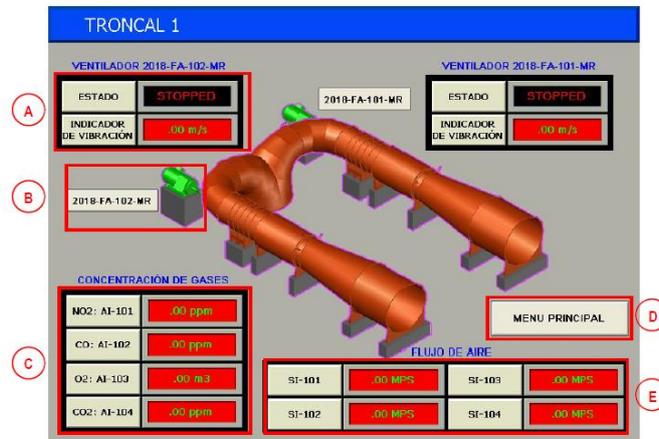


Pantalla principal del sistema SCADA.

Nota: significancia:

- A. Título de la pantalla.
- B. Fecha y hora.
- C. Menú de navegación.

c. Pantalla del troncal 1.

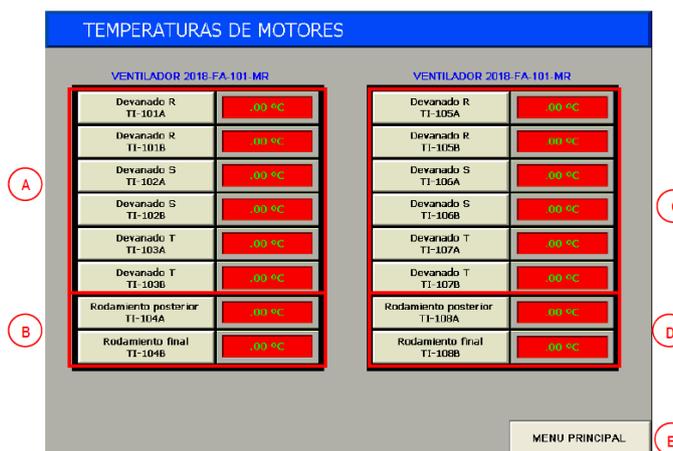


Pantalla del troncal 1.

Nota: significancia:

- A. Indicadores analógicos de vibración del eje del ventilador/estado del ventilador.
- B. Indicador del estado del motor.
- C. Indicadores analógicos de concentración de gases.
- D. Botón para regresar a la pantalla principal.
- E. Indicadores analógicos de velocidad del aire.

d. Pantalla del control de la temperatura de motores.



Pantalla de control de la temperatura de los motores.

Nota: significancia:

- A. Indicador de temperatura de los devanados del ventilador 01.
- B. Indicador de temperatura de los rodamientos del ventilador 01.
- C. Indicador de temperatura de los devanados del ventilador 02.

- D. Indicador de temperatura de los rodamientos del ventilador 02.
- e. Pantalla de control de tendencias.



Pantalla de control de tendencias de SCADA.

Nota: significancia:

- A. Descripción de grupo de tendencias mostradas.
- B. Gráfica de tendencias
- C. Descripción de señales mostradas en el cuadro de tendencias.
- D. Botones de acceso a grupos de tendencias y a la pantalla principal.

- f. Pantalla de alarmas.

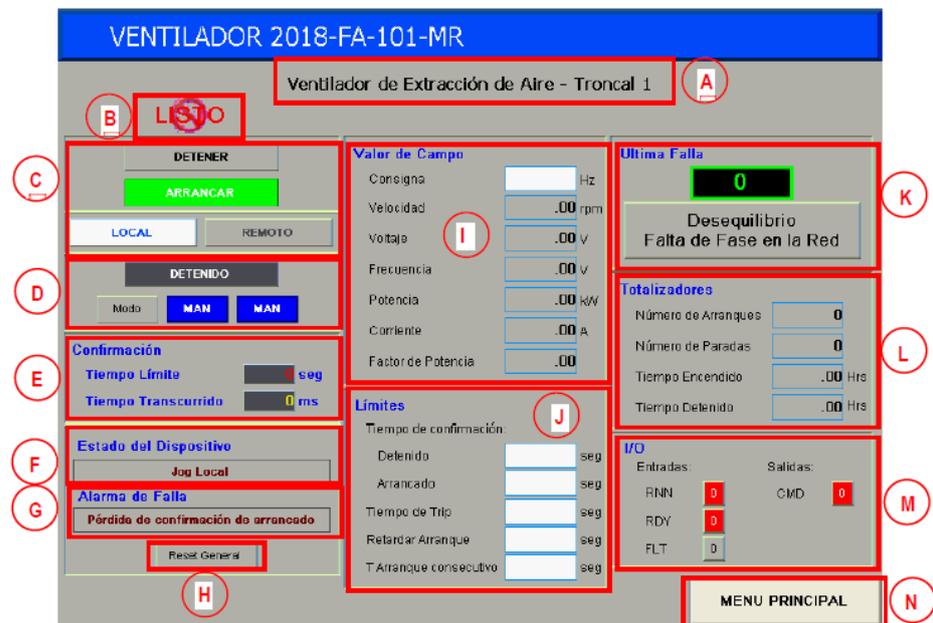


Pantalla de alarmas de SCADA.

Nota: significancia:

- A. Listado de alarmas recientemente activadas.
- B. Botones para reconocer y limpiar lista de alarmas.

- C. Botones para regresar a la pantalla principal.
- g. Pantalla del ventilador que consolida a los parámetros de motor, estados y fallas.



Pantalla de los ventiladores con sistema SCADA.

Nota: significancia:

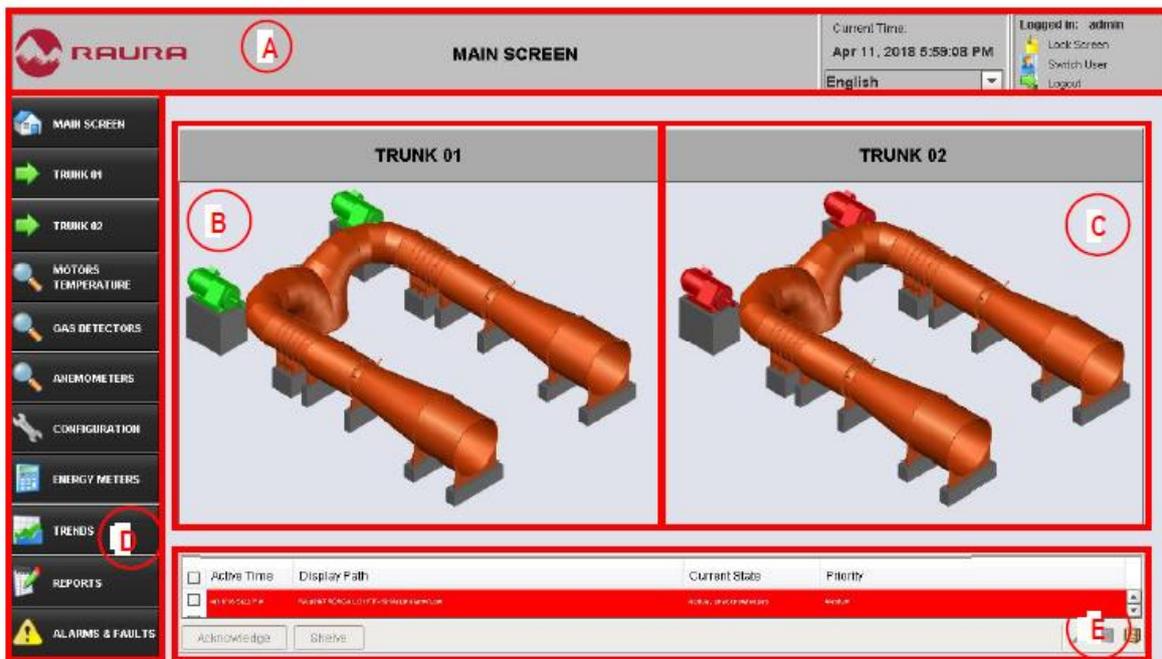
- A. Descripción del motor.
- B. Representación del estado de los dispositivos.
- C. Comando de arranque-parada manual del motor, indicador del funcionamiento del Local/Remoto.
- D. Visualización del estado STAR/STOP, control del estado AUTO/MAN.
- E. Visualización de tiempos para fallas de arranque y detención.
- F. Estado del dispositivo.
- G. Alama de falla.
- H. Botón de reseteo.
- I. Valores medidos de campo.
- J. Configuración de tiempo de alarmas.
- K. Código de registro de los variadores.
- L. Totalizadores de número de arranque, número de paradas, total de horas funcionando y total de horas detenido.
- M. Valores de entradas y salidas de los variadores.
- N. Botón de acceso a la pantalla principal.

Anexo 7. Condiciones de monitoreo del troncal 1.

TRONCAL 1:

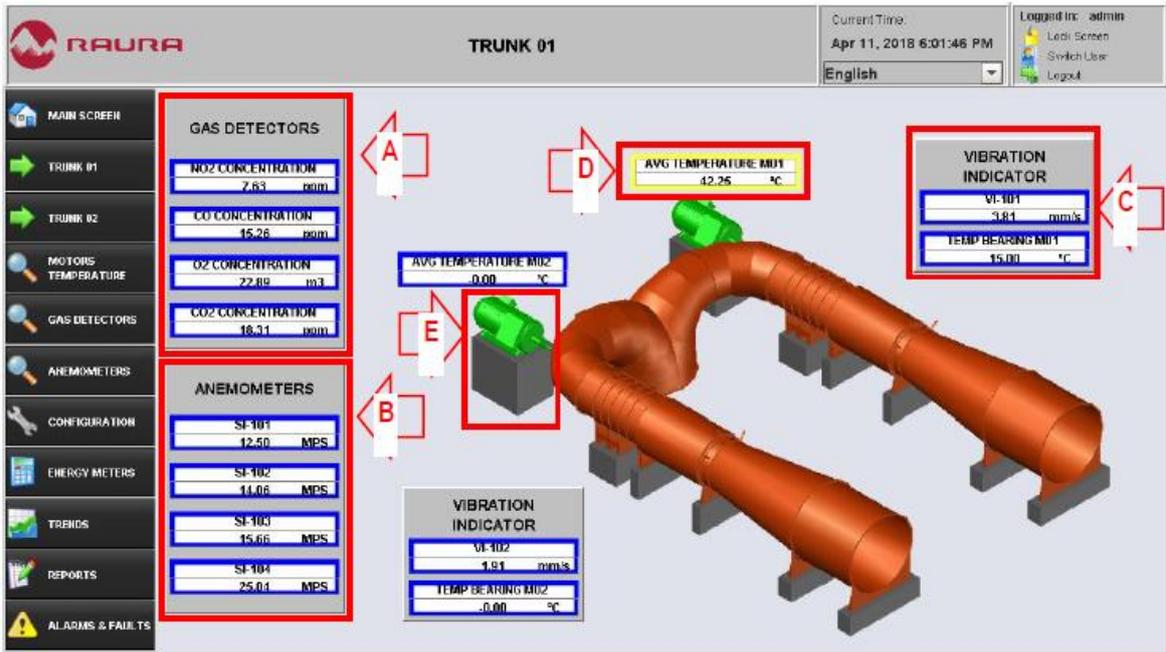
TABLEROS					
VARIADOR 1 TBC-077			VARIADOR 2 TBC-076		
RPM	1648	FRECUENCIA	55HZ	RPM	1648
CORRIENTE	447A	TENSION	456V	CORRIENTE	476A
FRECUENCIA 55HZ			FRECUENCIA 55HZ		
TENSION 456V			TENSION 456V		
SWITCH DE VIBRACION					
TM-017			TM-021		
0.00 mm/s.			0.00 mm/s.		

Anexo 8. Pantallas de supervisión (seguimiento o control) del sistema de automatización SCADA.



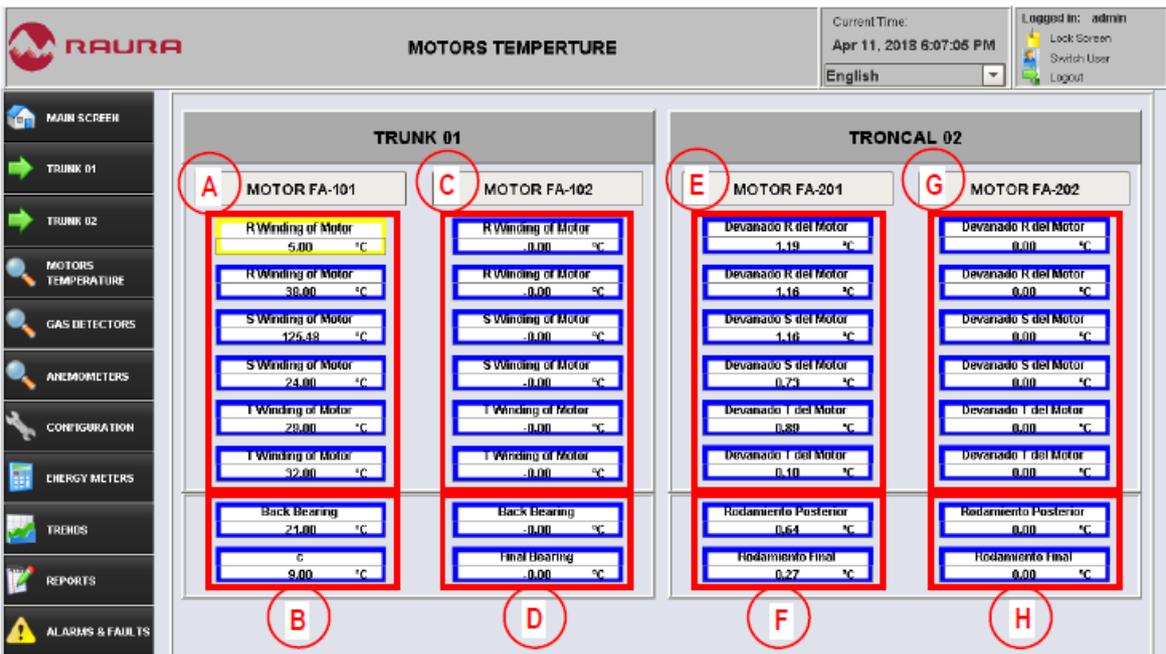
Donde:

- A. Banner Superior.
- B. Vista general y estado de motores del troncal 1.
- C. Vista general y estado de motores del troncal 2.
- D. Banner de navegación.
- E. Banner de Alarmas.



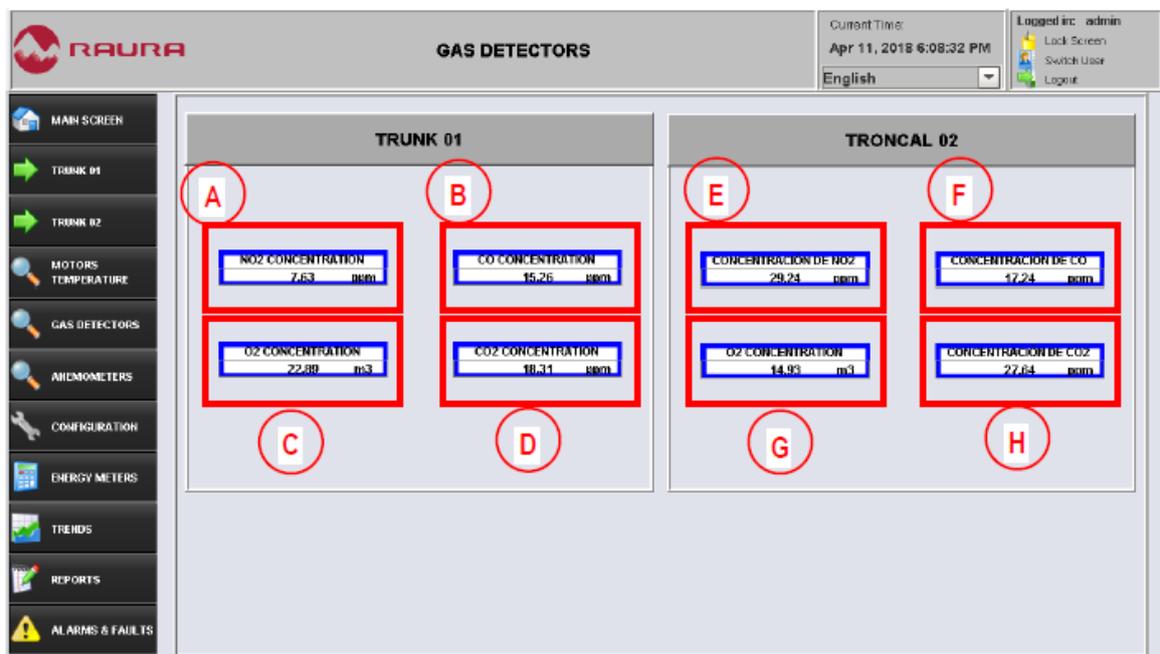
Donde:

- A. Indicadores analógicos de concentración de gases en la salida del troncal.
- B. Indicadores analógicos de velocidad de aire a salida de troncal.
- C. Indicadores analógicos de indicadores de vibración y temperatura promedio de los rodamientos del motor.
- D. Indicador de temperatura promedio de devanados del motor.
- E. Indicador de estado de motores de ventilador.



Donde:

- A. Indicadores de temperatura de los devanados del ventilador 01 de la troncal 01.
- B. Indicadores de temperatura de los rodamientos del ventilador 01 de la troncal 01.
- C. Indicadores de temperatura de los devanados del ventilador 02 de la troncal 01.
- D. Indicadores de temperatura de los rodamientos del ventilador 02 de la troncal 01.
- E. Indicadores de temperatura de los devanados del ventilador 01 de la troncal 02.
- F. Indicadores de temperatura de los rodamientos del ventilador 01 de la troncal 02.
- G. Indicadores de temperatura de los devanados del ventilador 02 de la troncal 02.
- H. Indicadores de temperatura de los rodamientos del ventilador 02 de la troncal 02.



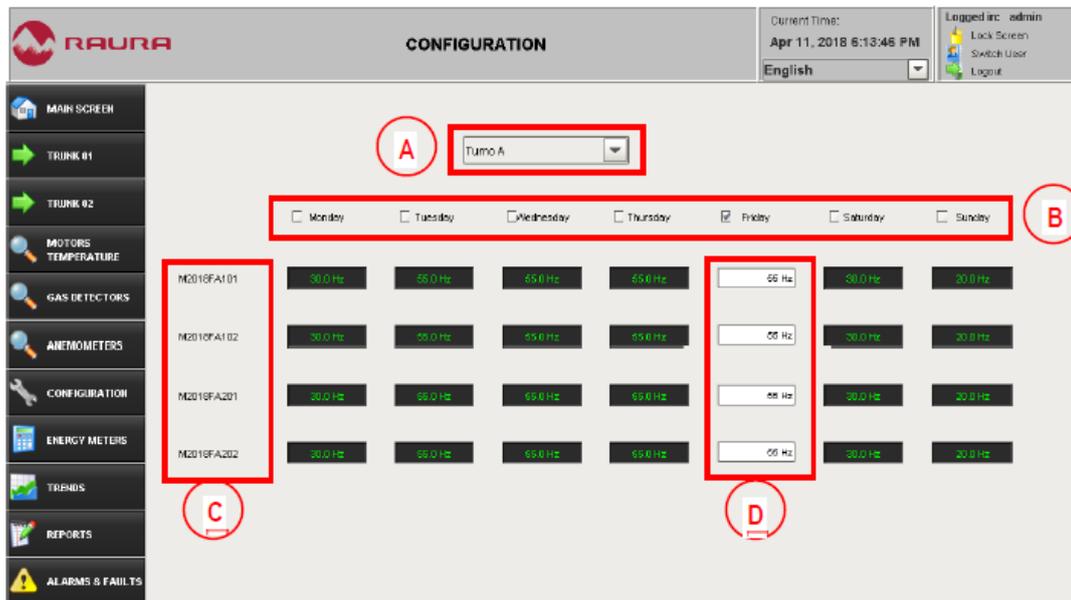
Donde:

- A. Indicador de concentración de dióxido de nitrógeno en la troncal 01.
- B. Indicador de concentración de monóxido de carbono en la troncal 01.
- C. Indicador de concentración de oxígeno en la troncal 01.
- D. Indicador de concentración de dióxido de carbono en la troncal 01.
- E. Indicador de concentración de dióxido de nitrógeno en la troncal 02.
- F. Indicador de concentración de monóxido de carbono en la troncal 02.
- G. Indicador de concentración de oxígeno en la troncal 02.
- H. Indicador de concentración de dióxido de carbono en la troncal 02.



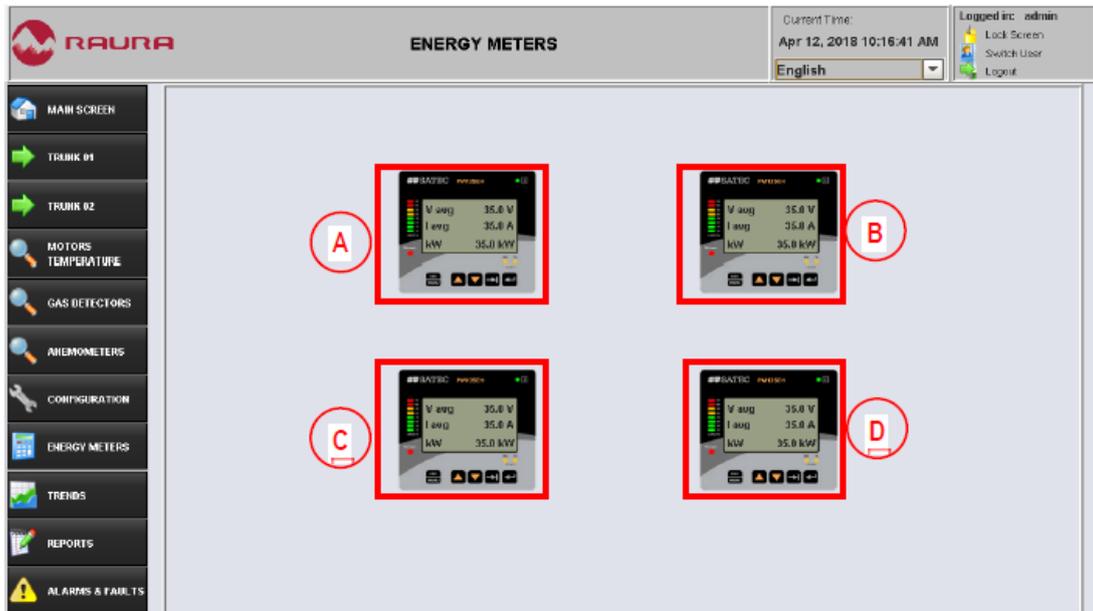
Donde:

- A. Indicadores de velocidad de aire en salida de la troncal 01.
- B. Indicadores de velocidad de aire en salida de la troncal 02.



Donde:

- A. Selector de turno para referencias de velocidad.
- B. Indicador/selector de día de la semana.
- C. Tag de identificación de los ventiladores.
- D. Consigna de velocidad seleccionada para cambio de referencia de velocidad.



Donde:

- A. Representación del medidor de energía PM135 de tablero TBC-075, troncal 01, con indicadores de principales parámetros.
- B. Representación del medidor de energía PM135 de tablero TBC-078, troncal 01, con indicadores de principales parámetros.
- C. Representación del medidor de energía PM135 de tablero TBC-076, troncal 02, con indicadores de principales parámetros.
- D. Representación del medidor de energía PM135 de tablero TBC-077, troncal 02, con indicadores de principales parámetros.



Donde:

- A. Selector desplegable para seleccionar troncal.
- B. Botones para seleccionar datos a visualizar en el cuadro de tendencias: indicadores de vibración, velocidad del aire, concentración de gas, temperatura de motores.
- C. Selector de etiquetas.
- D. Cuadro de tendencias para visualizar los datos de manera gráfica.
- E. Botón para aplicar.
- F. Cuadro para seleccionar rango de fecha.

The screenshot shows the RAURA REPORTS interface. The top bar includes the RAURA logo, the word 'REPORTS', and system information: 'Current Time: Apr 11, 2018 6:18:57 PM', 'Logged in: admin', and 'English'. A left sidebar contains navigation options: MAIN SCREEN, TRUNK #1, TRUNK #2, MOTORS TEMPERATURE, GAS DETECTORS, ANEMOMETERS, CONFIGURATION, ENERGY METERS, TRENDS, REPORTS, and ALARMS & FAULTS. The main content area is divided into several sections:

- Section A:** A dropdown menu labeled 'TRUNK 01'.
- Section B:** A vertical stack of buttons: 'VIBRATION INDICATORS', 'ANEMOMETERS', 'GAS ANALYZERS' (highlighted in green), and 'TEMPERATURES'.
- Section C:** A 'REPORT SELECTION TIME' panel with 'START' and 'END' date pickers.
- Section D:** A 'NAME FILE' input field.
- Section E:** 'EMAIL' and 'SAVE FILE' buttons, with 'SEND' and 'SAVE' sub-buttons.
- Section F:** An email configuration form with fields for 'From', 'Recipients', 'CC', 'Subject', and 'Body'.
- Section G:** A data table titled 'GAS CONCENTRATION TR' showing a list of time-stamped data points for NO2 and CO concentrations.

TIME	NO2	CO
04-04-18 08:20:00	0.02	0.04
04-04-18 08:21:00	0.04	0.08
04-04-18 08:22:00	0.06	0.12
04-04-18 08:23:00	0.08	0.16
04-04-18 08:24:00	0.1	0.2
04-04-18 08:25:00	0.12	0.24
04-04-18 08:26:00	0.14	0.28
04-04-18 08:27:00	0.16	0.32
04-04-18 08:28:00	0.18	0.36
04-04-18 08:29:00	0.2	0.39
04-04-18 08:30:00	0.22	0.43
04-04-18 08:31:00	0.24	0.47
04-04-18 08:32:00	0.26	0.51
04-04-18 08:33:00	0.28	0.55
04-04-18 08:34:00	0.3	0.59
04-04-18 08:35:00	0.32	0.63
04-04-18 08:36:00	0.34	0.67

Donde:

- A. Selector desplegable para seleccionar troncal.
- B. Botones para seleccionar datos a visualizar en el visor de reportes: indicador de vibración, velocidad de aire, concentración de gas, temperatura de motores.
- C. Selector de rango de tiempos de datos a visualizar en el visor de reportes.
- D. Cuadro para ingresar nombre de archivo a generar.
- E. Botón de selección de enviar y guardar.
- F. Datos necesarios para enviar el reporte vía correo electrónico.
- G. Vista previa del reporte a generar.

Current Time: Apr 11, 2018 6:19:50 PM
 Logged in: admin
 Lock Screen
 Switch User
 Logout
 English

Active Time	Display Path	Current State	Priority
16/04/18 14:10	RAU04/TRONCAL 02/M2018/FA2016/FLT2/Fault...	Active, Unacknowledged	High
16/04/18 8:23	THE DRIVE WAS COMMANDED TO WRITE D...	Active, Unacknowledged	Low
16/04/18 8:21	RAU04/TRONCAL 02/M2018/FA2011/FLT2/Fa...	Cleared, Unacknowledged	High
16/04/18 12:50	RAU04/TRONCAL 02/M2018/FA2011/FLT2/Fa...	Cleared, Unacknowledged	High

Details Notes

Genia Properties

Source Path: prcr/default/tag-RAU04/TRONCAL 02/M2018/FA2016/FLT2/Alarm:Fault to Stop

Display Path

Name: Fault to Stop

Mode: Equal

Priority: High

Current State: Active, Unacknowledged

Active By

Active Pipeline

Clear Pipeline

Deadband: 0

Active delay (seconds): 0

Acknowledge Silence

Donde:

- A. Listado de alarmas recientemente activadas.
- B. Detalles de alarma seleccionada.
- C. Botones de interacción con el listado de alarmas.

Anexo 9. Listado de entradas y salidas de la instrumentación del sistema de monitoreo y control de ventiladores principales.

1. TABLERO DE CONTROL PRINCIPAL: TCP-001

PS	CPU	ETH NET								
1756 - PA75	1756 - L73	1756-EN2T	RESERVA							
R: 1 PS1	R: 1 S: 0	R: 1 S: 1	R: 1 S: 2	R: 1 S: 3	R: 1 S: 4	R: 1 S: 5	R: 1 S: 6	R: 1 S: 7	R: 1 S: 8	R: 1 S: 9

R: Rack

S: Slot

Notas:

- 1.- Este Tablero de PLC, incluye un chasis de 10 slots, con procesador ControlLogix 1756-L73 para dicho Rack.
- 2.- Todos los equipos son de la marca Allen-Bradley.

2. TABLERO DE CONTROL: TC-001

- Distribución de módulos.

CPU	MOD BUS	PS	DI	RO	AI
1769 - L33ER	MVI69E - MBS	1769 - PA4	1769 - IQ16	1769 - OW16	1769 - IF8
B: 1 S: 0	B: 1 S: 1	B: 1 PS1	B: 1 S: 2	B: 1 S: 3	B: 1 S: 4

B: Bank

S: Slot

DI: Digital Input

RO: Relay Output

AI: Analog Input

- Listado de I/O

MÓDULO			ENTRADA DIGITAL		
MARCA			ALLEN BRADLEY		
CATÁLOGO			1769 – IQ16		
B	S	CH	TAG	Descripción	Plano Referencia
1	02	0	RL-01	Local / Remoto TBC-0076	GYS-RAU04-06-100
1	02	1	RL-02	Parada de Emergencia TBC-076	GYS-RAU04-06-100
1	02	2	RL-03	Habilitado VFD	GYS-RAU04-06-100
1	02	3	RL-04	MTR-01 Motor Funcionando	GYS-RAU04-06-100
1	02	4	RL-05	MTR-01 Motor Falla	GYS-RAU04-06-100
1	02	5	RL-01	Local / Remoto TBC-077	GYS-RAU04-06-100
1	02	6	RL-02	Parada de Emergencia TBC-077	GYS-RAU04-06-100
1	02	7	RL-03	Habilitado VFD	GYS-RAU04-06-100
1	02	8	RL-04	MTR-02 Motor Funcionando	GYS-RAU04-06-100
1	02	9	RL-05	MTR-02 Motor Falla	GYS-RAU04-06-100
1	02	10		Reserva	GYS-RAU04-06-100
1	02	11		Reserva	GYS-RAU04-06-100
1	02	12		Reserva	GYS-RAU04-06-100
1	02	13		Reserva	GYS-RAU04-06-100
1	02	14		Reserva	GYS-RAU04-06-100
1	02	15		Reserva	GYS-RAU04-06-100

B: Bank S: Slot CH: Channel

MÓDULO			SALIDA A RELÉ		
MARCA			ALLEN BRADLEY		
CATÁLOGO			1769 – OW16		
B	S	CH	TAG	Descripción	Plano Referencia
1	03	0	LT-02	M2018FA101 Alarma Temperatura	GYS-RAU04-06-100
1	03	1	LT-03	M2018FA101 Alarma Vibración	GYS-RAU04-06-100
1	03	2	LT-04	Alarma Concentración de Gases	GYS-RAU04-06-100
1	03	3	LT-05	M2018FA102 Alarma Temperatura	GYS-RAU04-06-100
1	03	4	LT-06	M2018FA102 Alarma Vibración	GYS-RAU04-06-100
1	03	5	RL-06	Arranque VFD TBC-076	GYS-RAU04-06-100
1	03	6	RL-06	Arranque VFD TBC-077	GYS-RAU04-06-100
1	03	7	RL-07	Reinicio Alarma de Vibración M2018FA101	GYS-RAU04-06-100
1	03	8	RL-08	Reinicio Alarma de Vibración M2018FA102	GYS-RAU04-06-100
1	03	9		Reserva	GYS-RAU04-06-100
1	03	10		Reserva	GYS-RAU04-06-100
1	03	11		Reserva	GYS-RAU04-06-100
1	03	12		Reserva	GYS-RAU04-06-100
1	03	13		Reserva	GYS-RAU04-06-100
1	03	14		Reserva	GYS-RAU04-06-100
1	03	15		Reserva	GYS-RAU04-06-100

B: Bank S: Slot CH: Channel

MÓDULO			ENTRADA ANÁLOGA		
MARCA			ALLEN BRADLEY		
CATÁLOGO			1769 – IF8		
B	S	CH	TAG	Descripción	Plano Referencia
1	04	0	FT-101	Monitoreo Anemómetro 1	GYS-RAU04-06-100
1	04	1	FT-102	Monitoreo Anemómetro 2	GYS-RAU04-06-100
1	04	2	FT-103	Monitoreo Anemómetro 3	GYS-RAU04-06-100
1	04	3	FT-104	Monitoreo Anemómetro 4	GYS-RAU04-06-100
1	04	4	VIT-101	Monitoreo Vibración 1	GYS-RAU04-06-100
1	04	5	VT-102	Monitoreo Vibración 2	GYS-RAU04-06-100
1	04	6		Reserva	GYS-RAU04-06-100
1	04	7		Reserva	GYS-RAU04-06-100

B: Bank S: Slot CH: Channel

3. TABLERO DE CONTROL: TC-002

- Distribución de módulos.**

CPU	MOD BUS	PS	DI	RO	AI
1769 – L33ER	MV169E - MBS	1769 - PA4	1769 - IQ16	1769 – OW16	1769 – IF8
B: 1 S: 0	B: 1 S: 1	B: 1 PS1	B: 1 S: 2	B: 1 S: 3	B: 1 S: 4

B: Bank S: Slot DI: Digital Input RO: Relay Output AI: Analog Input

- Listado de I/O**

MÓDULO			ENTRADA DIGITAL		
MARCA			ALLEN BRADLEY		
CATÁLOGO			1769 – IQ16		
B	S	CH	TAG	Descripción	Plano Referencia
1	02	0	RL-01	Local / Remoto TBC-075	GYS-RAU04-06-200
1	02	1	RL-02	Parada de Emergencia TBC-075	GYS-RAU04-06-200
1	02	2	RL-03	Habilitado VFD	GYS-RAU04-06-200
1	02	3	RL-04	MTR-01 Motor Funcionando	GYS-RAU04-06-200
1	02	4	RL-05	MTR-01 Motor Falla	GYS-RAU04-06-200
1	02	5	RL-01	Local / Remoto TBC-078	GYS-RAU04-06-200
1	02	6	RL-02	Parada de Emergencia TBC-078	GYS-RAU04-06-200
1	02	7	RL-03	Habilitado VFD	GYS-RAU04-06-200
1	02	8	RL-04	MTR-02 Motor Funcionando	GYS-RAU04-06-200
1	02	9	RL-05	MTR-02 Motor Falla	GYS-RAU04-06-200
1	02	10		Reserva	GYS-RAU04-06-200
1	02	11		Reserva	GYS-RAU04-06-200
1	02	12		Reserva	GYS-RAU04-06-200
1	02	13		Reserva	GYS-RAU04-06-200
1	02	14		Reserva	GYS-RAU04-06-200
1	02	15		Reserva	GYS-RAU04-06-200

B: Bank S: Slot CH: Channel

MÓDULO			SALIDA A RELÉ		
MARCA			ALLEN BRADLEY		
CATÁLOGO			1769 – OW16		
B	S	CH	TAG	Descripción	Plano Referencia
1	03	0	LT-02	M2018FA201 Alarma Temperatura	GYS-RAU04-06-200
1	03	1	LT-03	M2018FA201 Alarma Vibración	GYS-RAU04-06-200
1	03	2	LT-04	Alarma de Concentración de Gases	GYS-RAU04-06-200
1	03	3	LT-05	M2018FA202 Alarma Temperatura	GYS-RAU04-06-200
1	03	4	LT-06	M2018FA202 Alarma Vibración	GYS-RAU04-06-200
1	03	5	RL-06	Arranque VFD TBC-075	GYS-RAU04-06-200
1	03	6	RL-06	Arranque VFD TBC-078	GYS-RAU04-06-200
1	03	7	RL-07	Reinicio Alarma de Vibración M2018FA201	GYS-RAU04-06-200
1	03	8	RL-08	Reinicio Alarma de Vibración M2018FA202	GYS-RAU04-06-200
1	03	9		Reserva	GYS-RAU04-06-200
1	03	10		Reserva	GYS-RAU04-06-200
1	03	11		Reserva	GYS-RAU04-06-200
1	03	12		Reserva	GYS-RAU04-06-200
1	03	13		Reserva	GYS-RAU04-06-200
1	03	14		Reserva	GYS-RAU04-06-200
1	03	15		Reserva	GYS-RAU04-06-200

B: Bank S: Slot CH: Channel

MÓDULO			ENTRADA ANÁLOGA		
MARCA			ALLEN BRADLEY		
CATÁLOGO			1769 – IF8		
B	S	CH	TAG	Descripción	Plano Referencia
1	04	0	FT-201	Monitoreo Anemómetro 1	GYS-RAU04-06-200
1	04	1	FT-202	Monitoreo Anemómetro 2	GYS-RAU04-06-200
1	04	2	FT-203	Monitoreo Anemómetro 3	GYS-RAU04-06-200
1	04	3	FT-204	Monitoreo Anemómetro 4	GYS-RAU04-06-200
1	04	4	VIT-201	Monitoreo Vibración 1	GYS-RAU04-06-200
1	04	5	VIT-202	Monitoreo Vibración 2	GYS-RAU04-06-200
1	04	6		Reserva	GYS-RAU04-06-200
1	04	7		Reserva	GYS-RAU04-06-200

B: Bank S: Slot CH: Channel

Anexo 10. Panel fotográfico.



Fotografía Nº 1. Troncales implementados.



Fotografía Nº 2. Motor que acciona el sistema de ventilación para un troncal.



Fotografía Nº 3. Conexiones realizadas en los troncales.



Fotografía N° 4. Vista de los motores en los troncales.



Fotografía N° 5. Tablero de accionar eléctrico.



Fotografía N° 6. Área de control del sistema SCADA.



Fotografías N° 7 y 8. Panel de acción y distribución de energía.



Fotografía N° 9. Evidencia del manejo del sistema SCADA como entorno de automatización para la distribución de energía eléctrica.

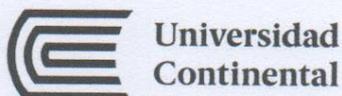


Fotografía N° 10. Panel de control de la temperatura de los motores.



Fotografías N° 11 y 12. Evidencia objetiva con la presencia de los troncales y motores del sistema de ventilación, considerando los equipos de protección personal adecuados para la labor.

Anexo 11. Registro del instrumento de recolección de datos empleados.



Lista de cotejo N° 01

Datos del control de distribución de energía eléctrica – Sistema de Ventilación Minera Raura S.A. – 2019

Investigador: Bach. Rómulo Aranda Ramos.

Objeto: Cotejar los datos de parámetros eléctricos asociados con el sistema SCADA.

*Potencia distribuida:

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Sem1	338,6	331,3	341,5	338,9	322	322,9	323,8	338,4	338,9	338,2	336,8	332,8
Sem2	338,9	331,5	341,6	339,7	322,3	323,7	324,7	338,7	339,7	336,3	337,7	332,7
Sem3	338,9	332,1	342,4	329,4	321	323,8	324,9	338,5	339,6	335,2	337,9	332,4
Sem4	338,8	331,1	341,3	339,2	321,1	324,4	325,4	338,4	339,4	335,1	338,8	332,1

*Datos de control de temperatura del motor:

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Sem1	27,3	27,1	27,2	27,4	24,5	24,5	24,1	24,6	26,6	26,3	27	27,3
Sem2	29,1	28,7	28,1	29,1	24,3	24,3	24	24,9	26,2	26,7	27,8	28,5
Sem3	28,5	28,1	27,2	28,2	24,2	24,2	23,6	24,8	25,6	26,8	27,3	28,7
Sem4	27,9	27,7	27,1	27,7	24,6	23,8	23,9	24,9	26	27	27,1	27,1

*Datos de control de vibración:

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Sem1	2,34	2,56	2,58	3,1	1,51	1,5	1,51	1,51	1,45	2,25	2,5	2,4
Sem2	2,4	2,44	3,1	3,5	1,5	1,51	1,51	1,5	2,05	2,45	2,36	2,6
Sem3	2,58	2,5	2,45	3,12	1,52	1,52	1,5	1,44	2,12	2,2	2,7	2,5
Sem4	2,6	2,26	2,53	2,8	1,51	1,51	1,52	1,5	2,16	1,98	2,6	2,3

*Datos de control de la velocidad del viento:

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Sem1	0,22	0,2	0,24	0,21	0,21	0,2	0,21	0,22	0,21	0,21	0,15	0,13
Sem2	0,24	0,2	0,25	0,24	0,22	0,19	0,21	0,21	0,24	0,25	0,14	0,14
Sem3	0,25	0,22	0,24	0,25	0,23	0,23	0,24	0,21	0,23	0,24	0,2	0,2
Sem4	0,21	0,22	0,23	0,22	0,22	0,22	0,22	0,24	0,24	0,22	0,14	0,14

*Datos del voltaje distribuido:

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Sem1	466	466	470	474	464	462	461	463	469	470	469	470
Sem2	467	468	471	475	465	463	464	464	471	474	470	475
Sem3	464	472	473	477	463	460	461	461	472	473	466	474
Sem4	463	470	474	470	460	459	460	460	472	471	471	473

*Datos de la corriente distribuida:

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Sem1	372	374	377	375	371	370	371	372	374	376	377	376
Sem2	373	376	378	377	370	371	371	373	375	377	378	377
Sem3	374	373	379	378	371	372	372	374	376	378	379	378
Sem4	373	377	378	378	372	371	374	373	375	377	378	377

*Datos de la frecuencia distribuida:

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Sem1	48	48	48	49	48	48	48	48	48	49	50	49
Sem2	48	47	49	50	48	48	48	48	50	49	49	49
Sem3	49	49	50	49	48	48	48	48	49	50	48	49
Sem4	47	48	49	48	48	48	48	48	49	48	49	49

Anexo 12. Memoria descriptiva de la Cía. Minera Raura.



MEMORIA DESCRIPTIVA DEL PLANO UNIFILAR DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA DE LA MINA, RESPECTO A LA ALIMENTACIÓN DE LOS VENTILADORES PRINCIPALES.

NOVIEMBRE 2019

1. OBJETIVO

El objetivo de la presente memoria descriptiva es realizar la descripción del sistema eléctrico de la Unidad Minera Raura en sus operaciones.

2. UBICACIÓN Y ACCESOS

La Unidad Minera Raura está ubicada en el Distrito de San Miguel de Cauri, Provincia de Lauricocha, departamento de Huánuco a una altura promedio de 4,700 m.s.n.m., desde la ciudad de Lima es accesible por la carretera Lima – Sayán - Churín – Oyón.

Las coordenadas geográficas de ubicación son:

*Latitud: 10° 26' 30" S.

*Longitud: 76° 44' 30" W.

*Coordenadas UTM: 8 845 500 N - 309 700 E.



Ubicación geográfica de la Unidad Minera Raura S.A.

La altura varía de 4300 a 4800 msnm con glaciares que alcanzan los 5700 msnm. La topografía es abrupta con valles y circos glaciares, con abundantes lagunas escalonadas y materiales morrénicos. El clima es frío y casi no existe vegetación.

3. ANTECEDENTES

Compañía Minera Raura S.A., es una empresa dedicada a las actividades minero metalúrgico de explotación, beneficio y comercialización de concentrados de minerales polimetálicos. Para el desarrollo de sus actividades y operaciones hace uso de energía eléctrica desde dos puntos de suministro:

- Del SEIN (Sistema Eléctrico Interconectado Nacional), teniendo como punto de entrega la Subestación Uchuchacua a un nivel de tensión de 33kV.
- De generación propia, con la Central Hidroeléctrica Cashaucro a un nivel de tensión de 2.3kV y la Subestación elevadora de 2.3/33kV.



Punto de suministro desde la SE. UCHUCCHACUA (Sistema Interconectado 138/33 KV).

4. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA ELÉCTRICO

Las características técnicas del suministro de energía eléctrica para la Unidad Minera Raura son los que se detalla a continuación:

4.1 Niveles de tensión

ALTA TENSION	:	33 000 Voltios
MEDIA TENSION	:	10 000 Voltios
		4160 Voltios
		2300 Voltios
BAJA TENSION	:	440 Voltios
		220 Voltios

4.2 Frecuencia

FRECUENCIA	:	60 Hertz
------------	---	----------

4.3 Sistema

SISTEMA	:	3 FASES
---------	---	---------

5. SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA LOS VENTILADORES

La Compañía Minera Raura S.A. en su Unidad Minera Raura alimenta eléctricamente a sus ventiladores principales desde tres puntos de suministro.

5.1 SEIN (Sistema Eléctrico Interconectado Nacional)

Compañía Minera Raura S.A., en su calidad de “cliente libre” realiza la compra de energía a la empresa generadora TERMOCHILCA SA., teniéndose un contrato de compra de máxima demanda convenida de 6000kW y como punto de entrega y medición la Subestación Uchuchacua en la barra de 33kV. Desde la SE Uchuchacua hacia la SE Cashaucro se tiene una Línea de Transmisión en 33kV en simple terna.

5.2 GENERACIÓN CASHAUCRO

Compañía Minera Raura S.A., posee la Central Hidroeléctrica Cashaucro ubicada en el poblado de Cashaucro, Distrito y Provincia de Oyón. La Central Hidroeléctrica posee una capacidad de generación de 3,700kW. La Central Hidroeléctrica de Cashaucro es interconectada a la Línea de Transmisión en 33kV a través de la SE Cashaucro (elevadora de 2.3kV a 33kV), desde la SE Cashaucro hacia la SE Raura se tiene una Línea de Transmisión en 33kV en simple terna.

Las características de los grupos hidráulicos son:

Grupo N° 01.

<u>GENERADOR</u>	
Marca	: AEG ROTADUCT
Tipo	: DKBH 4457/06
Serie	: 82-475123
Tensión	: 2300 V
Potencia	: 1319 kVA
Frecuencia	: 60 Hz
RPM	: 1200
Factor de potencia	: 0.8
<u>TURBINA</u>	
Marca	: MASCHINENFABRIK B. MAIER
Serie	: 2444
Hmax	: 130.44 m
Qmax	: 1.030 m ³ /s
N	: 1200 U/min

Grupo N° 02.

<u>GENERADOR</u>	
Marca	: SIEMENS SCHUCKERTWERKE AG
Tipo	: F 3425-6B
Serie	: 862674
Tensión	: 2300 V
Potencia	: 1150 kVA
Frecuencia	: 60 Hz
RPM	: 1200
Factor de potencia	: 0.8
<u>TURBINA</u>	
Marca	: MASCHINENFABRIK B. MAIER
Serie	: 2254
Hmax	: 131.9 m
Qmax	: 0.945 m ³ /s
N	: 1200 U/min

Grupo N° 03.

<u>GENERADOR</u>	
Marca	: SIEMENS SCHUCKERTWERKE AG
Tipo	: F 3425-6B
Serie	: 862673
Tensión	: 2300 V
Potencia	: 1150 k VA
Frecuencia	: 60 Hz
RPM	: 1200
Factor de potencia	: 0.8
<u>TURBINA</u>	
Marca	: MASCHINENFABRIK B. MAIER
Serie	: 2255
H máx.	: 131.9 m
Qmax	: 0.945 m ³ /s
N	: 1200 U/min

Grupo N° 04.

<u>GENERADOR</u>	
Marca	: SIEMENS SCHUCKERTWERKE AG
Tipo	: 1FA 3347
Serie	: 140231
Tensión	: 2300 V
Potencia	: 1150 kVA
Frecuencia	: 60 Hz
RPM	: 1200
Factor de potencia	: 0.8
<u>TURBINA</u>	
Marca	: MASCHINENFABRIK B. MAIER
Serie	: 2427
Hmax	: 131.9 m
Qmax	: 0.945 m ³ /s
N	: 1200 U/min

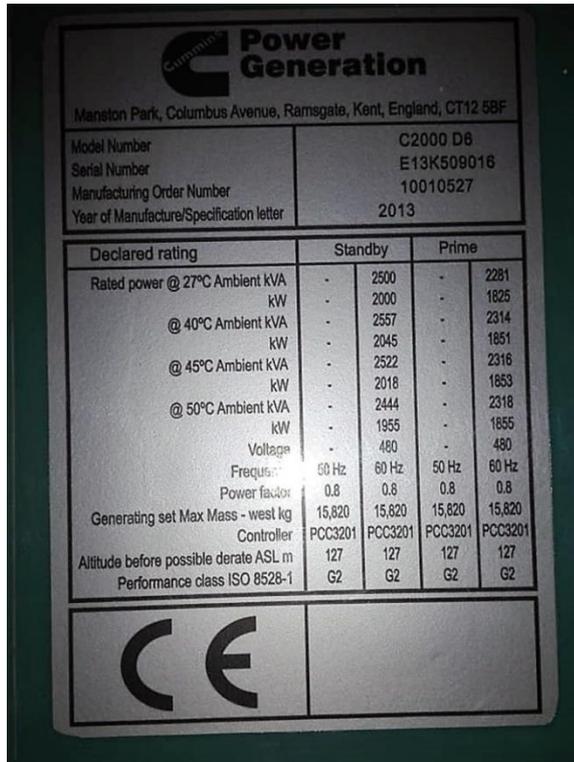


Grupos hídricos de CH Cashaucro.



Grupos hídricos N°01 de CH Cashaucro.

Como respaldo adicional se tiene en la Unidad un grupo electrógeno marca CUMMINS de 1800kW de potencia el cual brinda suministro de energía eléctrica para los ventiladores principales en caso de contingencia. Este sistema de emergencia se realiza el encendido manualmente prentiendo el grupo CUMMINS. Actualmente está en proyecto la implementación de arranque automático del grupo.



Cummins Power Generation
 Manston Park, Columbus Avenue, Ramsgate, Kent, England, CT12 5BF

Model Number	C2000 D6		
Serial Number	E13K509016		
Manufacturing Order Number	10010527		
Year of Manufacture/Specification letter	2013		

Declared rating	Standby		Prime	
	50 Hz	60 Hz	50 Hz	60 Hz
Rated power @ 27°C Ambient kVA	2500	2281	2281	2281
kW	2000	1825	1825	1825
@ 40°C Ambient kVA	2557	2314	2314	2314
kW	2045	1851	1851	1851
@ 45°C Ambient kVA	2522	2316	2316	2316
kW	2018	1853	1853	1853
@ 50°C Ambient kVA	2444	2318	2318	2318
kW	1955	1855	1855	1855
Voltage	480	480	480	480
Frequency	60 Hz	60 Hz	50 Hz	60 Hz
Power factor	0.8	0.8	0.8	0.8
Generating set Max Mass - wet kg	15,820	15,820	15,820	15,820
Controller	PCC3201	PCC3201	PCC3201	PCC3201
Altitude before possible derate ASL m	127	127	127	127
Performance class ISO 8528-1	G2	G2	G2	G2

CE

Grupo electrógeno G5 de 1800kW.



Panel de control del Generador G5.

6. SISTEMA DE VENTILACIÓN

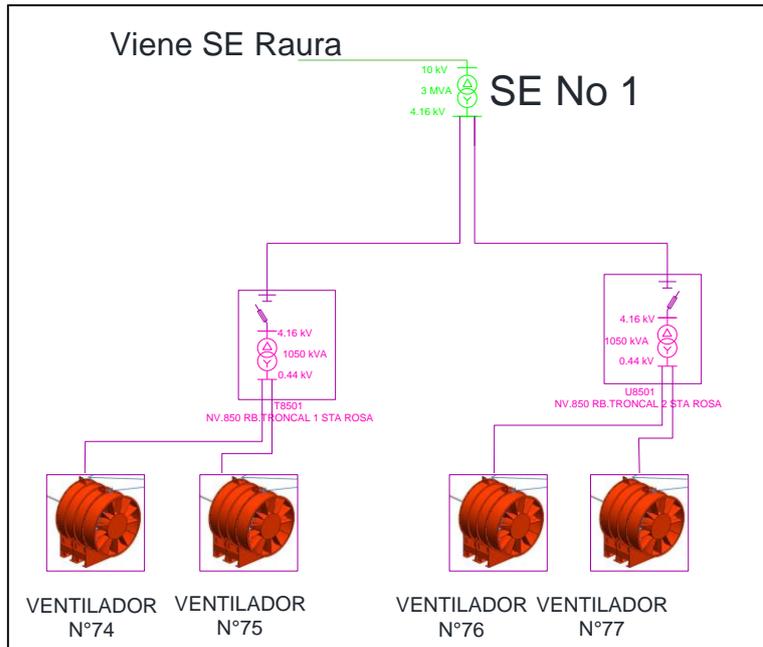
La ventilación en una mina subterránea es el proceso mediante el cual se hace circular por el interior de la misma el aire necesario para asegurar una atmósfera respirable y segura para el desarrollo de los trabajos. Es necesario establecer una circulación de aire dentro de una mina subterránea por las siguientes razones:

- Es necesario asegurar un contenido mínimo de oxígeno en la atmósfera de la mina para permitir la respiración de las personas que trabajan en su interior.
- En el interior se desprenden diferentes tipos de gases, según el mineral a explotar y la maquinaria utilizada. Estos gases pueden ser tóxicos, asfixiantes y/o explosivos, por lo que es necesario diluirlos por debajo de los límites legales establecidos.
- A medida que aumenta la profundidad de la mina la temperatura aumenta. El gradiente geotérmico medio es de 1° cada 33 m. Adicionalmente, los equipos y máquinas presentes en el interior contribuyen a elevar la temperatura del aire. En este caso la ventilación es necesaria para la climatización de la mina.

La ventilación en este caso es aspirante ya que el ventilador succiona el aire del interior de la mina (o la tubería) y lo expulsa al exterior. El aire limpio entra por una (o varias) de las entradas de la mina y el aire viciado tras recorrer la mina es aspirado por el ventilador principal.

El sistema de ventilación primaria consta de 04 ventiladores principales:

VENTILADOR PRINCIPAL TRONCAL 01:	Ventilador 74
	Ventilador 75
VENTILADOR PRINCIPAL TRONCAL 02:	Ventilador 76
	Ventilador 77



Ubicación en Diagrama Unifilar de ventiladores principales.

Ubicados en la zona de Santa Rosa (Nv. 800 superficie). La alimentación de energía eléctrica está dada desde:

- La SE. T8501 con un transformador de 1MVA que transforma de 4.160/0.46KV que alimenta los ventiladores desde los tableros **TVF-VE-01-T1** al Ventilador 74 y **TVF-VE-02-T1** al Ventilador 75.
- La SE. U8501 con un transformador de 1MVA que transforma de 4.160/0.46KV que alimenta los ventiladores desde los tableros **TVF-VE-01-T2** al Ventilador 76 y **TVF-VE-02-T2** al Ventilador 77.



Ubicación geográfica de los ventiladores principales Troncal 1 y Troncal 2.

En caso de falta de suministro del SEIN, la CH Cashaucro tiene la capacidad de suministrar energía a las cargas esenciales (ventilación primaria y sistema de bombeo). Como respaldo adicional se tiene en la Unidad un grupo electrógeno marca CUMMINS de 1800kW de potencia el cual brinda suministro de energía eléctrica para los ventiladores principales en caso de contingencia.

DISPOSITIVOS AUTOMÁTICOS DE ALARMA DE VENTILADORES PRINCIPALES (74, 75, 76 Y 77).

CIA. Minera Raura S.A. requiriendo monitorear Gases (NO₂, CO, O₂, CO₂) y Caudal de Aire, provenientes de sus galerías, túneles, pozos, chimeneas, cámaras, así como el control de los Ventiladores Principales que se encuentran en superficie (Troncales 01 y 02), con el fin de adecuarse a la normativa técnico - legal según DS-024-2016. A implementado un sistema SCADA que nos permite visualizar en tiempo real los datos de temperatura, concentración de gases, vibración, velocidad de aire, así como monitorear y controlar los ventiladores del sistema de ventilación. Entre las características del sistema se puede mencionar:

- Monitoreo y control de los Motores.
- Monitoreo de vibración en motores.
- Monitoreo de temperaturas en devanados de motores y rodamientos.
- Monitoreo de velocidad de aire.
- Monitoreo y configuración de las señales análogas.
- Monitores de las alarmas.

La interfaz del sistema de control con el operador corresponde a un software de gestión llamado IGNITION. Este Sistema de Supervisión (Servidor, Estación de Ingeniería y Estaciones de Trabajo) permite el control y monitoreo de los equipos y será normalmente empleado por el operador del área para la administración de la información y ajuste de parámetros del Sistema de Ventilación Principal. Para el desarrollo, configuración, supervisión y control del Sistema de Control y Supervisión se toma en consideración lo siguiente:

- Monitoreo de Gases NO₂, CO, O₂, CO₂, Caudal de Aire.
- Control y monitoreo de todos los motores de los ventiladores principales con variadores de velocidad a través del CCM de la sala eléctrica.

- Considerar todos los criterios y las buenas prácticas necesarias para que el Sistema de Control tenga un óptimo rendimiento.
- Se considera como secuencia de arranque y parada de motores al evento consecutivo de encender y/o apagar los motores, en forma manual o automática ya sea en modo local o remoto, en forma secuencial y bajo criterios de seguridad.
- Para realizar una secuencia de arranque es necesario que todas las condiciones de seguridad, enclavamiento y producción del nuevo sistema se cumplan, a fin de poder realizar un arranque del sistema sin problema alguno. Condición previa para el arranque es que todos los equipos involucrados se encuentren detenidos y en la medida de lo posible vacíos, con excepción de los equipos considerados críticos. Además, toda la instrumentación asociada al sistema deberá estar encendida y lista para operar.
- La secuencia de parada, es una secuencia programada, la cual garantiza la parada de todos los equipos del sistema. Además, garantiza que todos los equipos queden completamente libres y sin carga para un próximo arranque.
- En caso de emergencia el botón de parada de emergencia tendrá prioridad por sobre el modo en que se encuentre el control.



Operador de Subestación realizando el control y monitoreo de los ventiladores.

Anexo 13. *Data correspondiente al equilibrio en términos porcentuales de los gases en interior mina asociada al control de la ventilación por medio del sistema SCADA.*

Control y presencia de gases en interior mina	Mes	E	F	M	A	M	Jn	Jl	A	S	O	N	D
NO ₂ , CO, O ₂ , CO ₂	Sem1	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9
	Sem2	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9
	Sem3	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9
	Sem4	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9
Potencia distribuida	Voltaje (V)	Corriente (A)	Frecuencia (Hz)	Control de gases en interior mina (NO ₂ , CO, O ₂ , CO ₂)									
338,6	466	372	48	99.9 %									
338,9	467	373	49	99.9 %									
338,9	464	374	48	99.9 %									
338,8	463	373	47	99.9 %									
331,3	466	374	48	99.9 %									
331,5	468	376	47	99.9 %									
332,1	472	373	49	99.9 %									
331,1	470	377	48	99.9 %									
341,5	470	377	48	99.9 %									
341,6	471	378	49	99.9 %									
342,4	473	379	50	99.9 %									
341,3	474	378	49	99.9 %									
338,9	474	375	49	99.9 %									
339,7	475	377	50	99.9 %									
339,4	477	378	49	99.9 %									
339,2	470	378	48	99.9 %									
322	464	371	48	99.9 %									
322,3	465	370	48	99.9 %									
321	463	371	48	99.9 %									
321,1	460	372	48	99.9 %									
322,9	462	370	48	99.9 %									

323,7	463	371	48	99.9 %
323,8	460	372	48	99.9 %
324,4	459	371	48	99.9 %
323,8	461	371	48	99.9 %
324,7	462	371	48	99.9 %
324,9	461	372	48	99.9 %
325,4	460	374	48	99.9 %
338,4	463	372	48	99.9 %
338,7	464	373	48	99.9 %
338,5	461	374	48	99.9 %
338,4	460	373	48	99.9 %
338,9	469	374	48	99.9 %
339,7	471	375	50	99.9 %
339,6	472	376	49	99.9 %
339,4	472	375	49	99.9 %
338,2	470	376	49	99.9 %
336,3	474	377	49	99.9 %
335,2	473	378	50	99.9 %
335,1	471	377	48	99.9 %
336,8	469	377	50	99.9 %
337,7	470	378	49	99.9 %
337,9	466	379	48	99.9 %
338,8	471	378	49	99.9 %
332,8	470	376	49	99.9 %
332,7	475	377	49	99.9 %
332,4	474	378	49	99.9 %
332,1	473	377	49	99.9 %

Fuente: elaboración propia en función del cotejo de data y validez estadística respectiva.

Anexo 14. Diagrama unifilar de la C.M. Raura.

