

| | | | | | |
|---|--|-----------------------------|---------|------------------|------------|
|  | GESTIÓN DE SERVICIOS ACADÉMICOS Y BIBLIOTECARIOS | | CÓDIGO | FO-GS-15 | |
| | | | VERSIÓN | 02 | |
| | ESQUEMA HOJA DE RESUMEN | | | FECHA | 03/04/2017 |
| | | | | PÁGINA | 1 de 1 |
| ELABORÓ | | REVISÓ | | APROBÓ | |
| Jefe División de Biblioteca | | Equipo Operativo de Calidad | | Líder de Calidad | |

RESUMEN TRABAJO DE GRADO

AUTOR(ES): NOMBRES Y APELLIDOS COMPLETOS

NOMBRE(S): JHON JAIRO _____ APELLIDOS: ARIAS CAMACHO _____

NOMBRE(S): _____ APELLIDOS: _____

FACULTAD: INGENIERÍAS _____

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA _____

DIRECTOR:

NOMBRE(S): RONI MAURICIO _____ APELLIDOS: JAYA CAMACHO _____

TÍTULO DEL TRABAJO (TESIS): SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y CONTROL DE GASES Y BOMBEO DE AGUA EN LA MINA SAN TOMAS UBICADA EN LA VEREDA AYACUCHO DEL MUNICIPIO DE SAN CAYETANO (NORTE DE SANTANDER)

RESUMEN

La presente investigación se centra en establecer el cuadro de cargas de los equipos de ventilación y bombeo, a fin de determinar en primera instancia, las principales deficiencias en la extracción de agua, al interior de la mina San Tomas, puesto que se encontró que no existe una retroalimentación alguna generando inundaciones en las inmediaciones de la misma. De forma simultánea se analizan los informes de monitoreo de gases, evidenciándose que no existe un software que permita la interpretación de los reportes obtenidos manualmente por parte de los operarios de control. A partir de allí se procedió al diseño y simulación del sistema de monitoreo y control a través de SCADA, procurándose presentarle al sistema, todas las variables posibles asociadas a la explotación minera subterránea. Finalmente, este documento entrega un análisis de viabilidad para la implementación del sistema, relacionando los costos de adquisición y puesta en marcha.

PALABRAS CLAVE: explotación minera, monitoreo de gases, ventilación y bombeo, SCADA, seguridad minera.

CARACTERÍSTICAS:

PÁGINAS 91 TABLAS 18 FIGURAS 43 CD ROOM 1

SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y CONTROL DE GASES Y BOMBEO DE AGUA EN LA
MINA SAN TOMAS UBICADA EN LA VEREDA AYACUCHO DEL MUNICIPIO DE SAN
CAYETANO (NORTE DE SANTANDER)

JHON JAIRO ARIAS CAMACHO

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2023

SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y CONTROL DE GASES Y BOMBEO DE AGUA EN LA
MINA SAN TOMAS UBICADA EN LA VEREDA AYACUCHO DEL MUNICIPIO DE SAN
CAYETANO (NORTE DE SANTANDER)

JHON JAIRO ARIAS CAMACHO

Proyecto de grado presentado como requisito para optar el título de
Ingeniero Electromecánico

Director

RONI MAURICIO JAYA CAMACHO

Especialista Automatización Industrial

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2023



**ACTA DE SUSTENTACIÓN PROYECTO DE GRADO
MODALIDAD TRABAJO DIRIGIDO**

FECHA: 24 de febrero de 2023

HORA: 2:30 p.m.

LUGAR: AULA SUR 302 UFPS

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

TÍTULO DEL TRABAJO DE GRADO: "SISTEMA DE SUPERVISION Y CONTROL DE GASES Y BOMBEO DE AGUA EN LA MINA SAN TOMAS UBICADA EN LA VEREDA AYACUCHO DEL MUNICIPIO DE SAN CAYETANO NORTE DE SANTANDER."

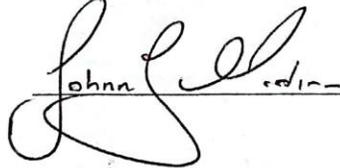
JURADOS Phd: JOHNNY OMAR MEDINA DURAN
Msc: JESUS HERNANDO ORDOÑEZ CORREA

DIRECTOR: Esp: RONI MAURICIO JAYA CAMACHO

APROBADO

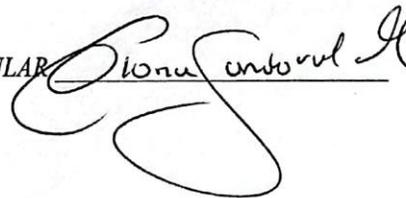
| NOMBRE DEL ESTUDIANTE: | CÓDIGO | CALIFICACION |
|---------------------------------|---------------|---------------------|
| JHON JAIRO ARIAS CAMACHO | 1091123 | 4.4 |

FIRMA DE LOS JURADOS:





VOBO. COORDINADOR COMITÉ CURRICULAR



Mariela Ch.

Quiero dedicar este proyecto especialmente a Dios que me ha dado la vida y la fortaleza de seguir siempre adelante; a mi señora madre Carmen Lidia Camacho y mi padre el señor Jesús María Arias, quienes han sido apoyo fundamental en toda mi vida y a todas esas personas que de una u otra forma siempre tuvieron la buena voluntad de desearme lo mejor durante este proceso, mil gracias a todos.

JHON JAIRO ARIAS CAMACHO

Agradecimientos

Un profundo agradecimiento a los obreros y personal de la mina San Tomas, pues su colaboración fue constante y con el deseo de retroalimentar conocimientos. Igualmente, un agradecimiento a los ingenieros Johny Omar Medina y Jesús Hernando Ordoñez por su dedicación a la lectura y ajustes técnicos en el desarrollo de la presente investigación.

Contenido

| | pág. |
|---|-------------|
| Introducción | 14 |
| 1. El Problema | 15 |
| 1.1 Título | 15 |
| 1.2 Planteamiento Del Problema | 15 |
| 1.3 Formulación Del Problema | 16 |
| 1.4 Justificación | 16 |
| 1.5 Objetivos | 18 |
| 1.5.1 Objetivo General | 18 |
| 1.5.2 Objetivos Específicos | 18 |
| 1.6 Delimitaciones | 18 |
| 2. Marco Referencial | 20 |
| 2.1 Antecedentes | 20 |
| 2.2 Marco Teórico | 21 |
| 2.2.1 Requisitos Para Explotación De Un Yacimiento Minero | 21 |
| 2.2.2 Explotación Minera Subterránea | 21 |
| 2.2.3 La ventilación | 23 |
| 2.2.4 Atmosferas Mineras Subterráneas | 24 |
| 2.2.5 Gases Contaminantes | 24 |
| 2.2.6 Métodos De Ventilación Minera | 25 |
| 2.2.7 Explosiones Por Acumulación De Gases | 27 |
| 2.2.8 Tipos de gases | 30 |

| | |
|--|----|
| 2.2.9 SCADA | 31 |
| 2.2.10 Programmable Logic Controller (PLC) | 32 |
| 2.2.10 Sensores | 33 |
| 2.2.12 Actuadores | 37 |
| 2.2.13 Electrobombas | 38 |
| 2.3 Marco Legal | 39 |
| 3. Diseño Metodológico | 41 |
| 3.1 Sistema De Ventilación | 46 |
| 3.2 Informe De Gases | 49 |
| 3.3 Instrumentos De Medición | 53 |
| 3.4 Ventilación | 56 |
| 3.5 Instrumentación Y Equipos Requeridos | 58 |
| 3.6 Selección De Sensores | 60 |
| 3.7 Estrategia De Control | 61 |
| 3.8 Diseño Y Simulación SCADA | 71 |
| 4. Análisis De La Viabilidad Del Proyecto | 78 |
| 4.1 Simulación Y Validación Del Sistema | 78 |
| 4.2 Costos Y Acceso A Los Equipos | 78 |
| 6. Conclusiones | 82 |
| 7. Recomendaciones | 83 |
| Bibliografía | 84 |
| Anexos | 87 |

Lista De Figuras

| | pág. |
|--|-------------|
| Figura 1. Ubicación de la mina San Tomas | 19 |
| Figura 2. Instrumento técnico minero para planear la explotación | 22 |
| Figura 3. Sistema de ventilación | 25 |
| Figura 4. Emergencias mineras en el año 2020 | 28 |
| Figura 5. Muertes en la minería en el año 2020 | 29 |
| Figura 6. Ejemplo de SCADA para mezcla de sustancias | 32 |
| Figura 7. Ejemplo de PLC, marca Haiwell | 33 |
| Figura 8. Sensor electroquímico | 34 |
| Figura 9. Sensor Catilico | 34 |
| Figura 10. Sensor Infrarrojo | 35 |
| Figura 11. Sistema de muestra PE-LD | 36 |
| Figura 12. Comunicación cable antena | 36 |
| Figura 13. Ejemplo de ventilar en una mina | 37 |
| Figura 14. Ejemplo de extractor para una mina | 38 |
| Figura 15. Sistema de bombeo en los inclinados 1 y 2 | 43 |
| Figura 16. Sistema de inclinado #3 | 45 |
| Figura 17. Sistema de ventilación de la mina San Tomas | 47 |
| Figura 18. Diagrama unifilar de la mina San Tomas | 48 |
| Figura 19. Medida de variables eléctricas en la mina San Tomas | 48 |
| Figura 20. Ubicación de gases dentro del túnel de explotación | 51 |
| Figura 21. Drager X-am 5600 | 54 |

| | |
|--|----|
| Figura 22. Pantalla del Drager X-am 5600 | 54 |
| Figura 23. Drager X-am 5600 indicando una alarma | 55 |
| Figura 24. Lazo de control bombeo | 61 |
| Figura 25. Lazo de control ventilación | 62 |
| Figura 26. Diagrama de bombeo | 63 |
| Figura 27. Diagrama ventilación Ve#1 | 64 |
| Figura 28. Diagrama ventilación Ve#2 | 64 |
| Figura 29. Diagrama ventilación Va#1 | 65 |
| Figura 30. Punto de medida PM#5 | 66 |
| Figura 31. Punto de medida PM#2 | 67 |
| Figura 32. Punto de medida PM#4 | 68 |
| Figura 33. Punto de medida PM#3 | 68 |
| Figura 34. Punto de medida PM#1 | 69 |
| Figura 35. Punto de medida PM#6 | 70 |
| Figura 36. Pantalla inicio SCADA | 71 |
| Figura 37. Pantalla de bombas | 72 |
| Figura 38. Pantalla de ventiladores | 73 |
| Figura 39. Pantalla de gases | 73 |
| Figura 40. Setpoints de corriente | 74 |
| Figura 41. Setpoints de gases | 74 |
| Figura 42. Alarma por nivel bajo | 75 |
| Figura 43. Pantalla de registro de alarmas | 75 |

Lista De Tablas

| | pág. |
|---|-------------|
| Tabla 1. Contenido presente en el aire | 24 |
| Tabla 2. Emergencias por explosiones | 27 |
| Tabla 3. Muertes por explosión | 27 |
| Tabla 4. Niveles de gases | 41 |
| Tabla 5. Verificación de acceso a la mina | 42 |
| Tabla 6. Características de las electrobombas inclinado 3 | 44 |
| Tabla 7. Características de las electrobombas 1 y 2 | 45 |
| Tabla 8. Cuadro característico de los ventiladores | 47 |
| Tabla 9. Niveles de gases en los puntos de medida | 52 |
| Tabla 10. Niveles de gases | 53 |
| Tabla 11. Selección de sensores | 60 |
| Tabla 12. Matriz de pugh sensores de gases | 61 |
| Tabla 13. Selección de sensor de corriente | 76 |
| Tabla 14. Matriz de pugh sensor de corriente | 77 |
| Tabla 15. Relación de costos para los sensores de gases | 79 |
| Tabla 16. Costo sensores de corriente | 80 |
| Tabla 17. Costo sensores de nivel | 80 |
| Tabla 18. Costos totales | 80 |

Lista De Anexos

| | pág. |
|--|-------------|
| Anexo 1. Diagrama de flujo de navegación en el SCADA | 88 |
| Anexo 2. Certificación de calibración de medidor de gases | 89 |
| Anexo 3. Formato de registro de gases al interior de la mina | 90 |
| Anexo 4. Socialización del proyecto | 91 |

Resumen

La presente investigación se centra en establecer el cuadro de cargas de los equipos de ventilación y bombeo, a fin de determinar en primera instancia, las principales deficiencias en la extracción de agua, al interior de la mina San Tomas, puesto que se encontró que no existe una retroalimentación alguna generando inundaciones en las inmediaciones de la misma. De forma simultánea se analizan los informes de monitoreo de gases, evidenciándose que no existe un software que permita la interpretación de los reportes obtenidos manualmente por parte de los operarios de control. A partir de allí se procedió al diseño y simulación del sistema de monitoreo y control a través de SCADA, procurándose presentarle al sistema, todas las variables posibles asociadas a la explotación minera subterránea. Finalmente, este documento entrega un análisis de viabilidad para la implementación del sistema, relacionando los costos de adquisición y puesta en marcha.

Palabras clave: explotación minera, monitoreo de gases, ventilación y bombeo, SCADA, seguridad minera.

Introducción

Analizando la situación actual de la industria en Colombia, se ha venido fortaleciendo la aplicación de la automatización industrial, siendo las empresas mineras un referente, sin embargo, en el departamento Norte de Santander, la automatización de procesos mineros no es común. La mina San Tomas ha visto como la automatización industrial puede ser una oportunidad para ser pionera en su industria a nivel departamental. Para sistematizar sus procesos de seguridad y supervisión permitiéndola alcanzar estándares y reconocimiento en el ámbito de la explotación minera subterránea, logrando alcanzar un nivel más competitivo.

Al diseñar e implementar este sistema de monitoreo y supervisión le permitirá contar con un sistema eficiente de ventilación el cual tendrá un mayor control de ambientes peligrosos a causa de la acumulación de gases nocivos, el cual permitirá una atmosfera segura para todo el personal minero que labora en la mina San Tomas. A su vez el desarrollo de un sistema automático para el bombeo de agua que se acumula al interior de la mina a causa de las filtraciones durante el avance de las explotaciones, lo cual será una mejora de un sistema semiautomatizado a un sistema totalmente automatizado para monitorear y controlar los niveles del agua al interior de la mina.

Este desarrollo le permitirá a la mina San Tomas ser pionera a nivel departamental y nacional al contar con un sistema automatizado para el control y la supervisión de ambientes peligrosos a causa de acumulación de gases nocivos y al igual que prevenir emergencias por acumulación de agua al interior de la mina, el cual le permitirá contar con atmosferas más seguras para todo el personal que labora en la mina y brindara unas condiciones más aptas para laborar mejorando la producción.

1. El Problema

1.1 Título

Sistema de supervisión y control de gases y bombeo de agua en la mina San Tomas ubicada en la vereda Ayacucho del municipio de San Cayetano, Norte de Santander.

1.2 Planteamiento Del Problema

En la mina san Tomas ubicada en la vereda Ayacucho zona rural del municipio de san Cayetano cuenta con un monitoreo de gases internos de la mina subterránea de forma manual para evitar asfixias del personal, y acumulación de gases que puedan ocasionar posibles explosiones. Estos monitoreos de gases manual se hacen con unos horarios determinados en los cuales personal de supervisión ingresa a mina y toma lectura de estos, analizando sus valores y dando la orden si es confiable ingresar a laborar o hay algún inconveniente.

Esta medición de gases se hace tres veces durante la jornada laboral pero el principal problema son los vacíos o espacios de tiempo donde no se monitorea los gases, al igual que el sistema de ventilación ante cualquier corte de energía o apagones eléctricos dejan a los equipos sin energía lo que genera irregularidades en el sistema de ventilación sin tener un control de este al instante. También todo esto genera costos para la empresa y desgaste en el personal por los desplazamientos a cada uno de los puntos de monitoreo. La alteración en cualquiera de estos parámetros puede generar una emergencia.

Pero dentro del mismo contexto lo igual sucede con los sistemas de extracción de agua, actualmente se hace de manera semiautomática, pues estos sistemas cuentan con arranques accionados por señales generadas por sensores de nivel de agua conocido como flotadores, los cuales sin un monitoreo constante muchas veces fallan, pues pueden ser activados por caída de roca o algún otro tipo de material e incluso por el ingreso de humedad a sus contactos, y genera

daños en las electrobombas al estas prender o trabajar en vacío; lo mismo sucede si este no acciona el no funcionamiento del sistema genera inundación y perdidas en la producción. Actualmente la extracción de agua se hace monitoreada por personal autorizado el cual genera un costo mayor para la empresa y al igual el desplazamiento genera desgaste del personal.

Por esta razón se hace necesario un sistema de medición automatizado para llevar un control y registro de los niveles de los gases ubicados en el interior de la mina es así que al detectar un alto nivel genere un mecanismo de control y alerta previniendo emergencias, esto con la ayuda de un sistema de ventilación ya que con el podemos remover los gases acumulados que se encuentren en reposo o aquellos que se generan a medida que avanzan la explotación.

Es así que, además, existe la deficiencia en la extracción de agua, esto por su mecanismo de bombeo el cual se realiza de forma semiautomática sin retroalimentación alguna del nivel del líquido mencionado generando inundaciones en las inmediaciones de la mina. Por lo anterior se ve en la necesidad de generar además un sistema de control de bombeo.

Por las anteriores razones mencionadas se plantea el diseño de un sistema SCADA para el monitoreo, generación de alarmas y control de actuadores de forma manual y automática con referencia a los niveles de gas en la mina; El mismo diseñado para ser manipulado y vigilado desde un cuarto de control de mandos.

1.3 Formulación Del Problema

¿Cuál sería el diseño de un sistema SCADA que permita mejorar las condiciones laborales y la productividad en la mina San Tomas?

1.4 Justificación

Un excelente ambiente laboral es aquel espacio donde todos los trabajadores cuenten con espacio seguro para poder ejercer sus actividades y cumplir con éxito las metas propuestas, por

esta razón se plantea el desarrollo del proyecto con el cual se pueda mejorar el ambiente laboral haciéndolo mucho más seguro para el personal de trabajo que se encuentra expuesto a un ambiente laboral de alto riesgo por muchos factores.

Se observa que es necesario la intervención, de plantear un plan o una alternativa la cual pueda brindar seguridad en el espacio de trabajo de la minería subterránea, en la cual se presentan muchos factores que lo hacen peligro como es la acumulación de gases nocivos, derrumbes internos o inundaciones; que pueden causar incidentes y emergencias, inclusive llegando a cobrar la vida de las personas que laboran dentro de la mina.

Por ello se plantea el desarrollo de un SCADA para el monitoreo, control y registro de las variables en la mina tanto de niveles de agua como de gases y a su vez el accionamiento del sistema de ventilación para así evitar que los gases generen efectos nocivos al personal o explosiones y emergencias que pueden llegar a cobrar la vida de los trabajadores, como también el accionamiento del sistema de bombeo para mantener los niveles de agua bajos al interior de la mina y así prevenir inundaciones y deslizamientos al interior de la mina.

A su vez el sistema SCADA que se plantea permitirá emitir alarmas con las cuales se puedan tomar acciones para mitigar cualquier acción de riesgo que se pueda presentar y corregir a tiempo, con el sistema de monitoreo se pueda supervisar desde un puesto de mando ubicado en el exterior de la mina.

Ya que con el diseño del SCADA podremos traer ciertos beneficios a la mina San Tomas, no solo en la seguridad evitando incidentes y pérdidas de la vida humana, sino también económicos ya que con este sistema se evita el uso de personal que constantemente este dentro de la mina monitoreando los niveles de gases de forma manual y también tener un mayor control sobre el sistema de extracción de agua, esto representa un ahorro y a su vez que se puede emplear estas

personas en la laborar de explotación y extracción del carbón. También los beneficios empresariales ya que contará con un sistema tecnológico y competitivo que le otorgara mayor seguridad en el ambiente laboral y eficiencia en producción, lo cual le permitirá resaltara frente a otras empresas de extracción de carbón que no cuentan con sistemas tecnológicos para supervisión del ambiente laboral.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General. Diseñar un sistema SCADA para monitoreo, control y registro de gases y sistemas de bombeo en la mina San Tomas.

1.5.2 Objetivos Específicos. Establecer el cuadro de cargas de los equipos de ventilación y bombeo.

Analizar los informes de monitoreo de gases, para identificar los tipos de gases en la mina y sus valores permitidos.

Seleccionar la instrumentación y equipos de control requeridos para el sistema.

Diseño y simulación del sistema de monitoreo y control junto a vinculación de SCADA en un entorno variable.

Análisis de viabilidad para la implementación del sistema.

1.6 Delimitaciones

Se tuvieron en cuenta las siguientes:

Tiempo. Para el desarrollo de este proyecto se contará con 4 meses, a partir de ser aprobado por el comité curricular de ingeniería electromecánica.

Espacio geográfico. Municipio de san Cayetano, vereda Ayacucho.



Figura 1. Ubicación de la mina San Tomas

Este proyecto aplica para la explotación subterránea de carbón ubicada en la vereda Ayacucho municipio de San Cayetano, específicamente a la mina San Tomas.

Población. Este proyecto se realizó en la mina San Tomas, beneficiando tanto a los dueños y jefes de mina, como también cada uno de sus trabajadores, dado que este diseño mejorara las condiciones laborales de todo el personal y aumentara la seguridad en las labores generando un espacio más óptimo para la producción.

2. Marco Referencial

2.1 Antecedentes

Los siguientes antecedentes permitirá tener una idea y guía de las diversas metodologías que se puede aplicar en el desarrollo de nuestro proyecto de grado, la cual se resalta los diversos métodos de comunicación, medida de los gases a tener en cuenta en el trabajo de la explotación minera subterránea y sistemas de supervisión de las variables para ejercer control y evitar incidentes.

Sistema de control y monitoreo automatizado para gases en minas de carbón. El presente artículo trata sobre el desarrollo de un sistema de monitoreo y control de los principales gases que se presentan al interior de minas de carbón, se basa en el diseño de una aplicación virtual, presenta una guía de los principales gases, sus estándares y los dispositivos usados para su medida. Así como un sistema de ventilación para mantener ventilado el ambiente y evitar emergencias o explosiones dentro de la mina. El aporte del artículo al desarrollo del proyecto es tener una base teórica para diseñar el sistema SCADA para monitorear las variables de los gases. (Carreño, 2010)

Sistema de supervisión y control para gases de la mina de carbón GAIA. El presente proyecto se basa en el diseño y actualización de medida de gases ubicado en la mina GAIA la cual presenta un sistema de monitoreo básico de gases el cual está conformado por sensores que se pueden ajustar y estos generan alarmas cuando están fuera de los límites, emitiendo alarmas visuales y sonoras para que los operadores procedan a encender los ventiladores manualmente. El presente proyecto nos hace un aporte en el enfoque de los dispositivos de medida que se pueden usar en el interior de la medida para monitorear los niveles de concentración de gases. (Alvarado, 2014)

Diseño de un sistema SCADA a través de una red Wireless para monitoreo y control de un sistema de paneles de 04 ventiladores principales de 100,000 CFM de la minera bateas. El presente

proyecto de grado se basa en un diseño de un sistema SCADA a través de una red Wireless para monitorear el funcionamiento de la ventilación dentro de la mina, manteniendo los estándares exigidos por la normativa peruana para un correcto funcionamiento. El aporte del proyecto es en diseñar el sistema SCADA y nos presenta unas pautas importantes a tener en cuenta cuando se esté desarrollando el proyecto (Antonio Prieto, 2018)

2.2 Marco Teórico

2.2.1 Requisitos Para Explotación De Un Yacimiento Minero. Para la explotación y extracción minera en Colombia se requiere de una autorización bajo la Ley 685 de 2001, la cual establece que solo lo podrá explotar un yacimiento minero aquella persona natural o jurídica que cumpla con los requisitos jurídicos y técnicos exigidos por la Autoridad Minera para otorgarle el contrato de concesión minero.

Después de la obtención del título de concesión minero deberá crear un plan de trabajos y obras, licencias ambientales y demás permisos ambientales. (MInMinas, 2015). A continuación, se presenta un instructivo para la planeación técnica de la explotación minera en Colombia, Se espera que la implementación de este método de análisis y diseño utilizando nuevos conceptos dentro de la planificación pueda ser formalizada en la minería colombiana con el fin de optimizar las operaciones e impulsar de manera positiva el desarrollo de la industria minera en el territorio nacional. Además, de que se conozcan otros métodos probados con grandes alcances dentro del negocio para toda la producción de minerales de interés económico. (Véase figura siguiente).

2.2.2 Explotación Minera Subterránea. La minería subterránea es aquella a la explotación de los recursos naturales debajo de la superficie de la tierra. En la mayoría de las ocasiones se lleva a cabo cuando no es posible realizarla a cielo abierto, ya sea por motivos económicos, ambientales o dificultades del terreno.

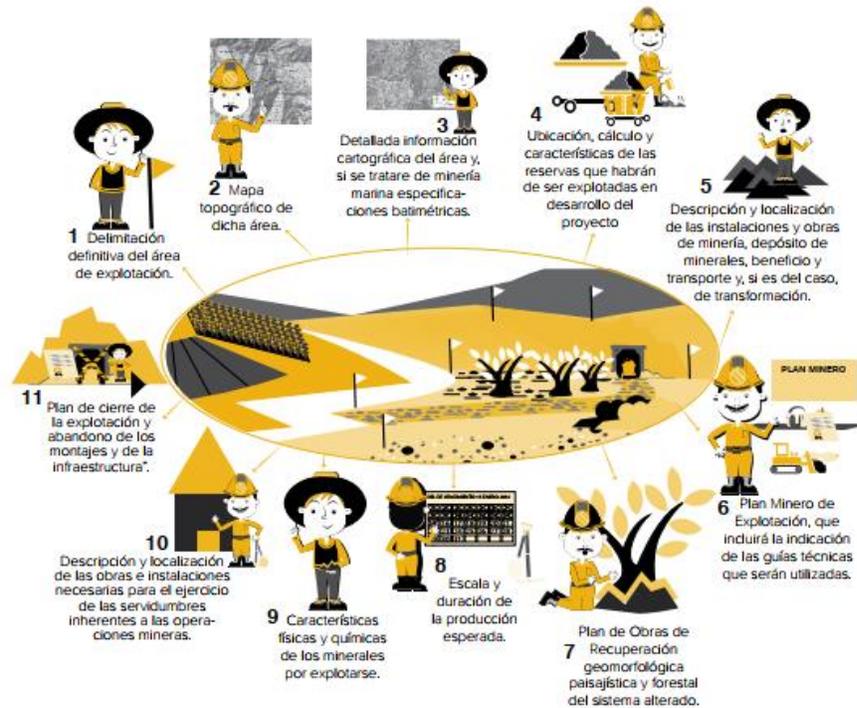


Figura 2. Instrumento técnico minero para planear la explotación

Fuente: Agencia Nacional de Minería. (2015). Cartilla minera. Preguntas frecuentes. Bogotá: Unidad de Restitución de Tierras. 20 p.

En la minería subterránea tiene unos componentes cruciales para el desarrollo de la explotación minera, uno de los cuales es el sistema de ventilación para eliminar los humos tóxicos de las perforaciones, las rutas de acceso de los trabajadores, el transporte de material de pozos de recuperación. (Ingeoexpert, 2019). Para eliminar todos los humos es un factor importante ya que se evitan intoxicaciones, asfixia o explosiones por acumulación de estos gases en el interior de la mina ocasionando grave emergencias que pueden llegar a cobrar la vida del personal que labora en la mina.

Existen dos tipos principales de explotación minera subterránea:

Pozos mineros. Suelen ser excavaciones verticales o inclinadas que van descendiendo a medida que se va avanzando, en este tipo de minería se necesitan bombas para sacar el agua que

se va acumulando a medida que se desciende.

Minas de montaña. Este tipo de excavaciones es mucho más sencillo en comparación con los pozos mineros ya que su perforación es de forma horizontal, y se hace en las laderas de montaña, para el caso del desagüe se hace con ayuda de la gravedad. (Ingeoexpert, 2019). La minería subterránea se lleva en diferentes espacios, pero lo que tienen en común es que son zonas de o espacios confinados donde la circulación de aire y la ventilación es desfavorable permitiendo acumulaciones de gases tóxicos o inflamables los cuales hacen las labores de los trabajadores peligrosas las cuales pueden ser asfixia o llegado el caso explosiones por acumulación de gases.

Por esta razón debemos asegurar dos factores importantes en la explotación minera subterránea los cuales son:

- Asegurar un ambiente sano con ventilación para el trabajo y circulación del personal.
- Neutralizar el aire para eliminar la acumulación de gases que puedan causar incendios o explosiones dentro de la mina. (Antonio Prieto, 2018)

2.2.3 La ventilación. La ventilación en la mina consiste en el proceso de hacer pasar flujo de aire considerable y necesario para establecer unas condiciones óptimas para el desarrollo de la explotación minera subterránea haciendo que los trabajadores encuentren un ambiente limpio y sin gases. La ventilación se realiza estableciendo un circuito para el flujo de aire a través de todas las labores o procesos realizados en la explotación minera. (Positiva, 2017)

Necesidades de la ventilación. Se debe establecer una correcta circulación de aire por las siguientes razones:

- Se debe asegurar un contenido mínimo de aire
- Se requiere diluir los gases, los cuales pueden ser tóxicos y/o explosivos
- Se debe ventilar la mina para climatizarla.

- Se requiere que los trabajadores tengan un confort térmico.

2.2.4 Atmosferas Mineras Subterráneas. La atmosfera minera debe tener una composición, temperatura y grado de humedad, óptimos para el desarrollo de la actividad de explotación y extracción, garantizando ambientes seguros para los trabajadores que se encuentran en el interior de la mina.

Tabla 1. Contenido presente en el aire

| Gases | Composición porcentual (%) |
|-------------|----------------------------|
| N_2 | 78 |
| O_2 | 20.86 |
| CO_2 | 0.2 |
| Argón | 0.93 |
| Otros gases | 0.01 |

Fuente: Agencia Nacional de Minería. (2015). Cartilla minera. Preguntas frecuentes. Bogotá: Unidad de Restitución de Tierras. 22 p.

2.2.5 Gases Contaminantes. En el proceso de la explotación y extracción de la minería subterránea se producen gases que son contaminantes y los cuales pueden llegar a ser nocivos para los trabajadores, o crear ambientes explosivos que pueden causar emergencias mineras. Los siguientes son gases son los principales contaminantes de la atmosfera minera:

- CO Monóxido de carbono.
- CO₂ Gas carbónico.
- CH₄ metano
- H₂S Ácido sulfúrico
- NO-NO₂ Gases nitrosos.
- Radón.
- Polvo en el aire.

Clasificación de los gases. Se encuentran los siguientes:

- Gases asfixiantes: producen una disminución de la concentración de oxígeno en el aire.

- Gases tóxicos: provocan una disminución de oxígeno, penetrando los pulmones y luego el resto del cuerpo.
- Gases explosivos: producen efectos nocivos, como intoxicación, envenenamiento. Cuando se mezcla con el aire y hay una chispa puede causar la inmisión y provocar una explosión. (Positiva, 2017)

Por esta razón anteriormente mencionada se deben tener sistema de ventilación y circulación de flujo de aire, para asegurar atmosferas seguras los trabajadores manteniendo ambientes controlados en la temperatura, concentración de oxígeno y gases tóxicos.

2.2.6 Métodos De Ventilación Minera. Dentro de la minería subterránea se encuentran los siguientes métodos:

Ventilación natural. 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.



Figura 3. Sistema de ventilación

Fuente: Plataforma de gestión de conocimientos para la minería artesanal. (2005). Ventilación de minas. Bogotá: geco-mineroartesanal, 9 p.

Ventilación auxiliar. 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. Para galerías horizontales de poca longitud y sección (menores a 400 metros y de 3.0 x 3.0 metros de 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 de aire del circuito general de ventilación de la zona.

Sistema aspirante. El aire fresco ingresa al frente por la galería y el contaminado es extraído por la ductería. Para ventilar desarrollos de túneles desde la superficie, es el sistema aspirante el preferido para su ventilación, aun cuando se requieren elementos auxiliares para remover el aire de la zona muerta, comprendida entre el frente y el extremo del ducto de aspiración.

Sistema combinado. Aspirante-impelente, que emplea dos tendidos de ductería, uno para extraer aire y el segundo para impulsar aire limpio al frente en avance. Este sistema reúne las ventajas de los dos tipos básicos, en cuanto a mantener la galería y el frente en desarrollo con una renovación constante de aire limpio y en la velocidad de la extracción de los gases de disparos, con la desventaja de su mayor costo de instalación y mantenimiento.

Para galerías de mayor sección (mayor a 12 m²) y con una longitud sobre los 400 metros, el uso de un sistema aspirante o combinado es más recomendable para mantener las galerías limpias y con buena visibilidad para el tráfico de vehículos, sobre todo si éste es equipo diésel. Hoy día, es la ventilación impelente la que más se usa, ya que el ducto es una manga totalmente flexible, fácil de trasladar, colocar y sacar. En este caso, el ventilador al soplar infla la manga y mueve el aire. En el caso de la ventilación aspirante, estas mangas deben tener un anillado en espiral rígido lo que las hace muy caras. (Positiva, 2017)

La importancia de los sistemas de ventilación aparte de las ya mencionadas como son una mejor atmosfera de trabajo como la climatización, un ambiente libre de gases y que puede prevenir explosiones en el interior de la mina, este es un factor importante ya que si se hace una correcta

supervisión y ventilación minimizamos los riesgos de explosión.

2.2.7 Explosiones Por Acumulación De Gases. Las explosiones por acumulación de gases, se da cuando tenemos un déficit en nuestro sistema de supervisión y control en las variables de medición de los gases que se encuentran al interior de la mina, y en complemento con un mal sistema de ventilación haciendo que los gases tóxicos y explosivos se encuentren quietos en un punto de la mina y no sean evacuados al exterior. Por esta razón y si se presenta una chispa en esta atmosfera más la mezcla con el oxígeno presente en el aire ocasionara una inmisión provocando explosiones en al interior de la mina llevando a emergencias que pueden terminar con la pérdida de vidas humanas. A continuación, se presenta un cuadro en resumen de los accidentes ocasionados por la acumulación de gas solo de CH₄ (Metano) y polvo de carbón desde el año 2005 al 2020 los cuales fueron registrados en por la Agencia Nacional de Minería.

Tabla 2. Emergencias por explosiones

| | Emergencias | Muertes |
|---|--------------------|----------------|
| Todos los tipo | 1459 | 1638 |
| Explosiones de CH ₄ y/o polvo de carbón | 148 | 378 |
| Porcentaje | 10,14% | 23,1% |

Fuente: Agencia Nacional de Minería. (2020). Reportes mineros. Bogotá: Unidad de Restitución de Tierras.

11 p.

Para el año 2020 se presentaron un total de 138 emergencias siendo 16 de ellas por acumulación de gas Metano y polvo de carbón, ocasionado la pérdida de vidas humanas en 40 oportunidades, las cuales representan una cuarta parte de las muertes en los accidentes mineros ocurridos en el año 2020.

Tabla 3. Muertes por explosión

| | Emergencias | Muertes |
|---|--------------------|----------------|
| Todos los tipo | 138 | 156 |
| Explosiones de CH4 y/o polvo de carbón | 16 | 40 |
| Porcentaje | 11,6% | 25,6% |

Fuente: Agencia Nacional de Minería. (2020). Reportes mineros. Bogotá: Unidad de Restitución de Tierras.
11 p.

Otro factor importante que causa emergencia son las atmosferas viciadas las cuales se presentan cuando la circulación de aire o ventilación es precaria la cual cuando se respira de manera perjudicial para la salud, o no se ajusta a los estándares para trabajar en una atmosfera adecuada.

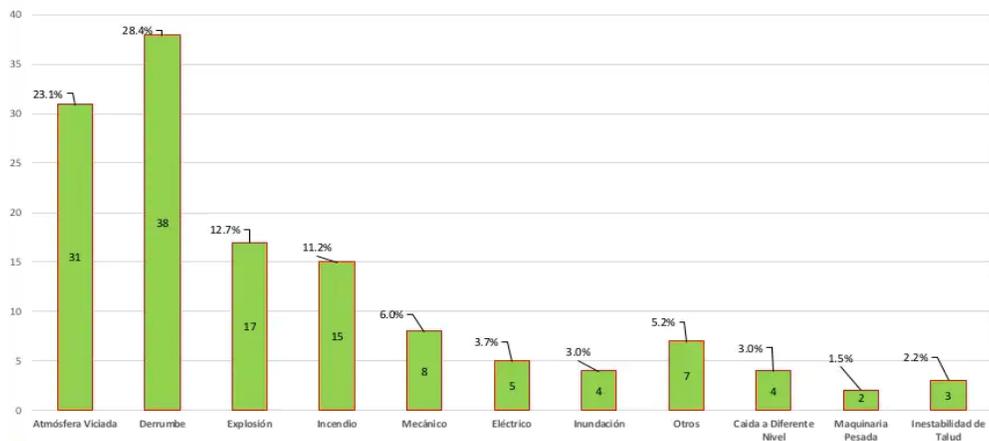


Figura 4. Emergencias mineras en el año 2020

Fuente: Agencia Nacional de Minería. (2020). Reportes mineros. Bogotá: Unidad de Restitución de Tierras.
12 p.

Como se puede observar en la figura, a lo largo del año 2020 se registraron 134 emergencias, como podemos observar se presentaron 31 emergencias por atmosferas viciadas (Aire contaminado), 17 emergencias a explosiones, estas emergencias están asociadas principalmente a los sistemas de ventilación de las minas, y 4 emergencias por inundación la cuales pueden ser pocas pero pueden llegar a causar la pérdidas de vidas humanas, siendo un factor importante el

sistema de bombeo de agua de la mina, para poder evacuar toda el agua acumulada al interior de la mina.

Sumando el porcentaje de estas emergencias presentadas llega a un 38.8% de las 134 emergencias presentadas en el 2020, y como hace enfoque el desarrollo del proyecto en estos temas.

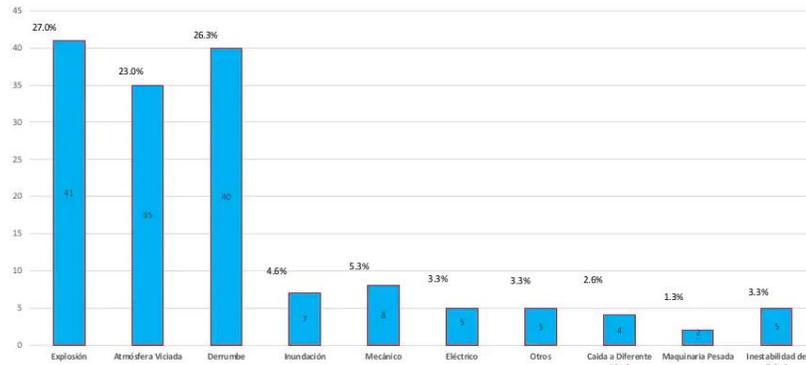


Figura 5. Muertes en la minería en el año 2020

Fuente: Agencia Nacional de Minería. (2020). Reportes mineros. Bogotá: Unidad de Restitución de Tierras. 13 p.

La mortalidad registrada en las emergencias mineras ascendió a 152 vidas humanas, siendo la explosión la principal causa con 41 muertes, la sigue los derrumbes con 40 muertes, en tercer lugar, las atmosferas viciadas con 35 muertes en el año 2020.

En el enfoque del desarrollo del proyecto que es el diseño de un sistema de supervisión de control de gases y bombeo en la mina San Tomas, resaltamos esta gran cantidad de muertes presentadas en el año 2020, ya que sumando las muertes por explosión, atmosfera viciadas e inundaciones llegamos a sumar 83 vidas humanas que equivalen al 54.6% de las muertes presentadas en emergencias mineras en el 2020, siendo un alto número se resalta la importancia de los sistemas de supervisión y control de los gases e inundaciones para así disminuir las emergencias presentadas y a su vez la pérdida de vidas humanas.

2.2.8 Tipos de gases. Dentro de la mina podemos encontrar diferentes tipos de gases los cuales se presenta a continuación y sus respectivas características:

Nitrógeno. Gas inerte, incoloro, inodoro, insípido y es más ligero que el aire. Cuando se encuentra mezclado con un poco de oxígeno produce sofocamiento en el organismo humano. Se forma por el desprendimiento de los estratos de rocas en algunas minas y también por el consumo de oxígeno del aire por alguna forma de combustión, especialmente la combustión de explosivos. Este gas causa la muerte por sofocamiento cuando el porcentaje de nitrógeno pasa de 88%. (Minera S. , 2016)

Monóxido de carbono. Gas extremadamente venenoso, incoloro, inodoro e insípido. Es uno de los gases más peligrosos que existen y es la causa del 90% de los accidentes fatales en minas por intoxicación por gases. No mantiene la combustión y es imposible detectar su presencia sin contar con equipos de detección de gases. Se produce siempre durante los incendios en minas, explosiones de gas y polvo, voladuras, quema de explosivos y generado por los motores de combustión interna. (Minera S. , 2016)

Gases nitrosos. Gases incoloros en concentraciones bajas y de color pardo rojizo cuando la concentración es alta. Es un gas tóxico e irritante que se forma en las minas por efecto del empleo de explosivos, especialmente cuando se utiliza anfo y por la combustión de motores diésel. Su acción tóxica la ejerce en las vías respiratorias, especialmente en los pulmones, al disolverse con el agua formando el ácido nítrico y nitroso los que corroen los tejidos. Una concentración de 0,002% produce un envenenamiento mortal. (Minera S. , 2016)

Ácido sulfúrico. Gas incoloro sofocante, con fuerte olor sulfuroso, es 2,2 veces más pesado que el aire y se disuelve fácilmente en el agua. Es fuertemente irritante de los ojos, nariz y la garganta, incluso en concentraciones bajas, y puede causar graves daños a los pulmones si se inhala

en altas concentraciones. (Minera S. , 2016)

Gas grisú. Gas compuesto principalmente por metano, conteniendo un promedio de 95% de este gas. Los otros componentes son anhídrido carbónico, nitrógeno, etano y a veces hidrógeno. El metano es uno de los gases más peligrosos existentes en las minas, por su propiedad de formar mezclas explosivas con el aire. Las explosiones de metano han sido la causa de la muerte de centenares de mineros del carbón. Se encuentra en las minas de carbón y en rocas que contienen materias orgánicas. (Seguridad minera, 2016)

Dióxido de carbono. También llamado anhídrido carbónico es un gas incoloro e inodoro, presente en la atmósfera en una proporción de 380 partes por millón (ppm). Las principales fuentes de dióxido de carbono son la combustión de materiales fósiles (carbón, derivados del petróleo, biomasa, etc.) y la respiración aeróbica de la especie animal. En mucha menor medida, fenómenos naturales como los volcanes, contribuyen asimismo al incremento de la tasa de CO₂. (S&P, 2017)

2.2.9 SCADA. La automatización industrial consiste en gobernar la actividad y la evolución de los procesos sin la intervención continua de un operador humano. En los últimos años, se ha estado desarrollado el sistema denominado SCADA (siglas en inglés de Supervisory Control And Data Adquisition), por medio del cual se pueden supervisar y controlar las distintas variables que se presentan en un proceso o planta. Para ello se deben utilizar diversos periféricos, software de aplicación, unidades remotas, sistemas de comunicación, etc. Que le permiten al operador tener acceso completo al proceso mediante su visualización en una pantalla de computador.

Hoy en día existen varios sistemas que permiten controlar y supervisar procesos industriales, tales como PLC, DCS y ahora SCADA, que se pueden integrar y comunicar entre sí mediante una red Ethernet con el fin de que el operador pueda mejorar la interfaz en tiempo real. Esto permite

supervisar el proceso y tener acceso al historial de las alarmas y variables de control con mayor claridad, combinar bases de datos relacionadas, presentar en un simple computador, por ejemplo, una plantilla Excel, un documento Word, todo en ambiente Windows, con lo que todo el sistema resulta más amigable. (Antonio Prieto, 2018)

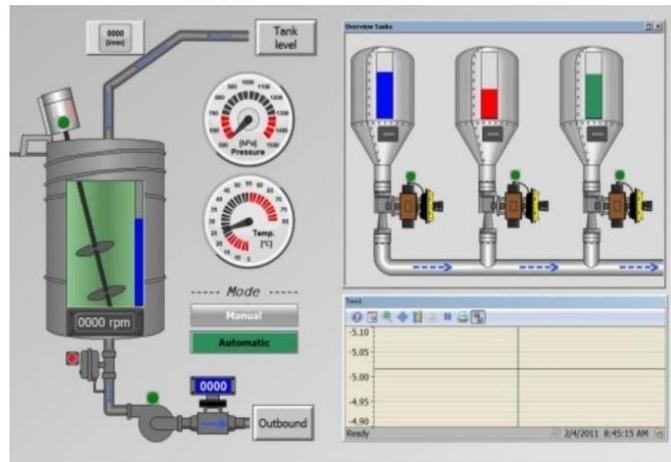


Figura 6. Ejemplo de SCADA para mezcla de sustancias

Fuente: Prieto, A. (2018).

2.2.10 Programmable Logic Controller (PLC). Un autómata programable industrial es un equipo electrónico, programable en lenguaje no informático, diseñado para controlar en tiempo real y en ambiente de tipo industrial procesos secuenciales (Sanchis, 2010). Al autómata programable también se conoce como PLC, que es la sigla de Programmable Logic Controller. Tal y como se resume en la definición, se trata de un computador especial, tanto en el software como en el hardware.

En el software, porque se programa en un lenguaje especial diseñado específicamente para generar de forma sencilla el programa que implementa el algoritmo de control de procesos secuenciales (de sistemas de eventos discretos), y porque el algoritmo de control programado es ejecutado de forma periódica en un ciclo temporal que es lo bastante breve como para poder controlar los procesos en tiempo real.

En el hardware, porque utiliza componentes robustos que soportan condiciones de trabajo adversas, como las que se dan en ambientes industriales (polvo, temperatura, vibraciones, etc.), y porque su constitución física incluye los circuitos de interfaz necesarios para conectarlo de forma directa a los sensores y actuadores del proceso. (Antonio Prieto, 2018)



Figura 7. Ejemplo de PLC, marca Haiwell

2.2.10 Sensores. Son dispositivos los cuales se encargan de medir diversas magnitudes físicas del entorno donde se encuentran, capaces de detectar un cambio en el entorno y responde ante esta variación, convirtiendo el fenómeno físico en una salida eléctrica medible. (Smith, 2020)

Sensores usados en la minería subterránea. Los sensores utilizados en la explotación mineral subterránea deben cumplir con ciertos requerimientos para su trabajo los cuales deben estar diseñados para soportan ambientes de trabajo pesado, ya que deben soportan temperaturas elevadas, alta humedad y material particulado. Además de cumplir con los estándares de medición de gases para satisfacer las necesidades de seguridad y alertas, ya que estos son los principales dispositivos de prevención de explosiones al interior de la mina.

Para la medida de los gases se usan diversos tipos de sensores cada uno con diversos principios de funcionamiento los cuales ofrecen diversas características y son usados dependiendo de las necesidades requeridas.

- Electroquímicos: son dispositivos que consisten básicamente de electrodos envueltos en una solución electrolítica detrás de una membrana permeable. Las moléculas de gas pasan a través

de la membrana para entrar en la interfaz electrodo/electrolito donde las reacciones químicas generan un flujo de corriente eléctrica medible. (Alvarado, 2014)

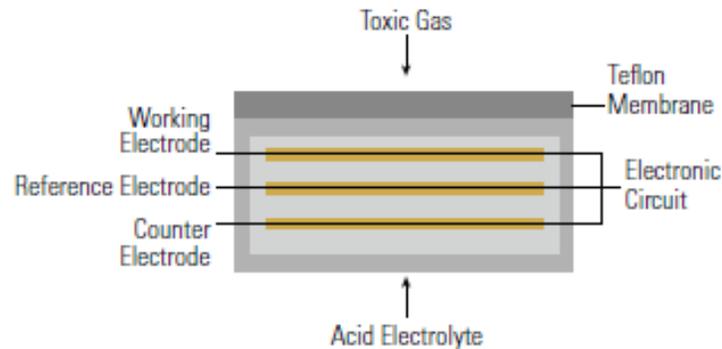


Figura 8. Sensor electroquímico

Fuente: Industrial Scientific, (2019).

- Catalíticos: están enfocados en gases combustibles, los cuales constan de filamentos calientes, detrás de un arrestador de flama sinterizado de acero inoxidable. Los gases son tratados como un catalítico para efectivamente quemar u oxidar el gas, los dos elementos de filamento esta configurados en un puente Wheatstone el cual cuando se expone a gases crea un desbalance y genera un flujo de corriente eléctrica medible. (Alvarado, 2014)

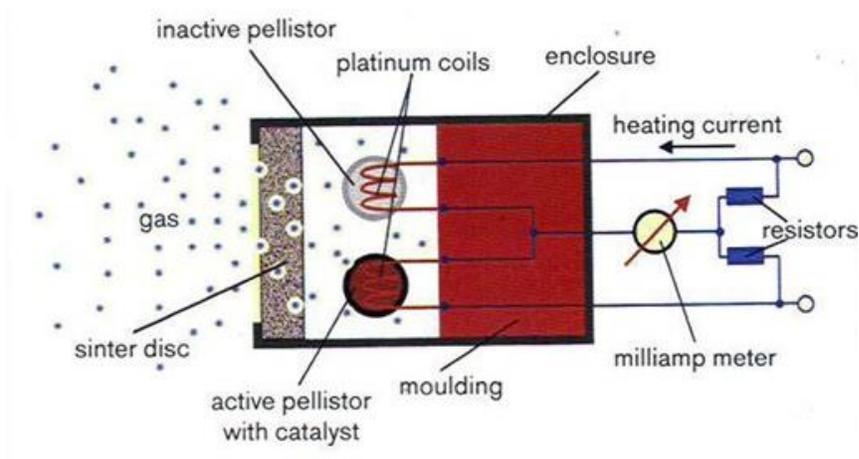


Figura 9. Sensor Catalítico

Fuente: Industrial Scientific, (2019).

- Infrarrojos: se basan en el principio de absorción infrarroja por moléculas de gas a longitudes de onda específica en la región infrarroja. El sensor utiliza una lámpara infrarroja y dos detectores, uno activo y otro de referencia. El activo está cubierto con un filtro óptico el cual permite la transmisión de radiación infrarroja a una longitud de onda específica del gas a medir, el de referencia está cubierto con un filtro que esta fuera de la longitud de onda el cual al notar una diferencia con el activo genera un pulso eléctrico. (Alvarado, 2014)

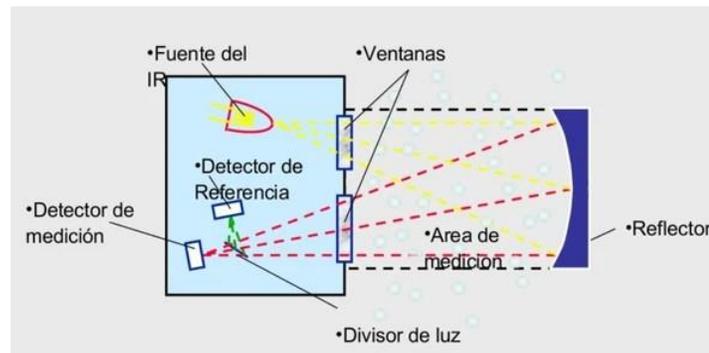


Figura 10. Sensor infrarrojo

Fuente: Industrial Scientific, (2019).

Sistemas de comunicación de sensores en la minería. Para los sistemas de comunicación de los diferentes tipos de sensores que se encuentran al interior de la mina subterránea se usan diversas tecnologías de comunicación y se emplean dependiendo de la topología de la mina que más se adapte a ella.

- Sistema de tubos de baja densidad (PE-LD), este sistema se basa en tomar muestras de aire en diferentes puntos de la mina y enviar por medio de las bombas de vacío transportando por medio de tubos flexibles de baja densidad donde se encuentra el dispositivo encargado de analizar la muestra de aire, y determinar su calidad y composición para así detectar la concentración de cada uno de los gases que puedan estar presentes. (SICK, SICK sensores inteligentes, 2017)

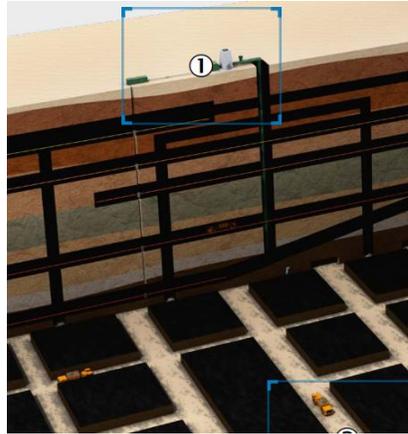


Figura 11. Sistema de muestra PE-LD

Fuente: (SICK, SICK sensores inteligentes, 2017)

- Sistemas cable antena: estos sistemas es la solución más difundida en la minería subterránea tradicional, ya que es un cable coaxial especialmente diseñado para transmitir la información, este sistema está conectado a antenas ubicadas a 30 o 50 metros y emplea sistemas de amplificación ubicados a 150 a 500 metros para mantener una señal radial y permitir la transmisión de la información. (Wired, 2017)



Figura 12. Comunicación cable antena

Fuente: (Wired, 2017)

- Tecnología Zigbee: consiste en un sistema de comunicación inalámbrico donde se crea una red de interconexión con cada uno de los sistemas de medición, como son la estación de monitoreo, central de control y monitoreo. La cual crea una malla robusta de nodos la cual permite la

transmisión de información desde el sistema de medición hasta la central de control, y monitoreo. (Marín, 2013)

2.2.12 Actuadores. Son dispositivos capaces de transformar una energía hidráulica, neumática o eléctrica en la activación de un proceso con la finalidad de ejercer un efecto sobre un proceso automatizado. En la minería se usan diversos tipos de actuadores desde sistemas de ventilación, transportar carbón hasta el bombeo del agua desde el interior de la mina hasta el exterior.

Ventiladores. Es un maquina rotativa capaz de mover una determinada masa de aire, se emplean ventiladores industriales para mover los gases y reducir las temperaturas de la zona de trabajo, el principio de funcionamiento del ventilador es de insuflar aire limpio lo cual genera corrientes de aire, las cuales levantan polvo y crean una sobrepresión en el ambiente. (Soler Palau, 2021)



Figura 13. Ejemplo de ventilar en una mina

Fuente: (Alvarado, 2014)

Extractores. Son máquinas rotativas capaces de mover y extraer determinadas masas de aire, se emplean extractores industriales para remover el aire contaminado de las atmosferas de trabajo, el principio de funcionamiento de un extractor es mover masas de aire sin generar corrientes y proporcionar una depresión en el espacio de trabajo. (Soler Palau, 2021)



Figura 14. Ejemplo de extractor para una mina

Fuente: Laminas y aceros, (2019)

2.2.13 Electrobombas. Son un tipo de bomba hidráulica que se caracterizan por ser accionadas a través de un motor eléctrico, son empleadas para incrementar la presión de un líquido, para mover el fluido de una zona de menor presión o altitud a una zona de mayor presión o altitud. (VentaGeneradores, 2015)

Las electrobombas se usan para la extracción de agua que se acumulan en los frentes de trabajo y son enviadas a tanquillas que se encuentran a lo largo de la mina para su posterior bombeo a la superficie, este proceso es importante para conservar los niveles y evitar inundaciones de los túneles de trabajo que se encuentran en los niveles más profundos de la mina.

Métodos de bombeo. Para el sistema de bombeo desde el interior a la superficie de la mina se realiza mediante un proceso de electrobombas y tanques, también llamados tanquillas en las cuales el sistema de bombeo almacena el agua de los diferentes frentes de trabajo y a su vez permite la sedimentación de las partículas pesadas, el bombeo se realiza desde estas tanquillas por el sistema de tubería que comunica a la superficie de la mina.

Tipos de electrobombas. Bomba de desplazamiento positivo: Son las que desplazan líquido, mediante la creación de un desequilibrio de presiones dentro de un entorno cerrado. Este

desequilibrio hace que el líquido se mueva de un lugar a otro en un intento de equilibrar la presión.

- Bombas de engranaje: se usa para aplicaciones en potencia de fluidos y para distribuir lubricantes a componentes específicos de maquinaria. se componen de 2 engranes que giran dentro de una carcasa, en sentido contrario. Las bombas de engrane desarrollan presiones en el rango de 15000 a 4000 psi.
- Bombas de pistón: los pistones llevan en forma alternada fluido al interior de sus cilindros a través de válvulas de succión y luego lo fuerzan a salir por válvulas de descarga contra la presión del sistema.
- Bombas de aspa: consiste en un rotor excéntrico que contiene un conjunto de aspas deslizantes que corren dentro de una carcasa. Un anillo de levas en la carcasa controla la posición radial, el fluido entra por el puerto de succión en el lado izquierdo después es capturado en un espacio entre 2 aspas y así se lleva al puerto de descarga a la presión del sistema.
- Bombas sumergibles: están diseñadas que puedan sumergirse todo el conjunto de la bomba centrífuga, el motor impulsor y los aparatos de succión y descarga. Estas bombas son útiles para retirar el agua que no se desea en sitios como construcción, minas. (Barzola, 2019)

2.3 Marco Legal

En la explotación minera subterránea en Colombia hay una normativa la cual es exigida por el gobierno nacional en cabeza del Ministerio de Minas y Energía, así como del Ministerio del Trabajo, los cuales son los entes encargados por la seguridad de todo personal que labora en la explotación subterránea.

Decreto 1886 de 2015. El presente decreto regula y establece el reglamento de seguridad de las labores mineras subterráneas en Colombia. Este reglamento abarca desde la seguridad del personal desde los implementos básicos de seguridad usados en la minería por las personas, así

como el ambiente con las condiciones de seguridad dadas para la labor del personal que son una atmosfera libre de gases peligrosos, con una climatización adecuada, alarmas de incendios y posibles derrumbes. (Minas, 2015)

Resolución 0491 de 2020. La presente resolución establece los requisitos mínimos de seguridad y salud para el desarrollo de trabajos en espacios confinados. En la cual se exigen en espacios confinados con los requisitos de una correcta atmosfera de trabajo con las condiciones mínimas de aires respirables y libre de peligros como atmosferas toxicas y explosivas. (Ministerio de Trabajo, 2020)

3. Diseño Metodológico

Para el desarrollo del proyecto se realiza el cuadro de carga de los equipos eléctricos de la mina involucrados en el sistema de ventilación y bombeo, por lo cual se va a cada uno de los puntos usados para este proceso y que están ubicados a lo largo de la mina los cuales.

Primero que todo y para poder dirigirnos a los puntos de medida y toma de datos dentro de la mina, se debe tener en cuenta una serie de recomendaciones hechas por la encargada de seguridad y salud en el trabajo (SST) de la mina. Como requisito se pide tener activa la afiliación a riesgos laborales (ARL); donde nos especifican que debe ser riesgo 5, la cual es el máximo riesgo donde incluyen explotación petrolera y minera.

Después de verificarse la información de seguridad por parte de la persona encargada, se realiza una charla de seguridad o inducción; donde se deja claro que peligros se encuentran dentro de la mina y como realizar acciones seguras para minimizar riesgos, en esta charla también se realiza una explicación del plano de la mina donde se hacen referencias de las labores de acceso, nichos de seguridad, refugios, rutas de evacuación y salidas de emergencia.

Dentro de la inducción se revisa la tabla de gases presentes en la explotación minera y sus valores límites permisibles.

Tabla 4. Niveles de gases

| GAS | PPM | % |
|------------|------------|----------------|
| O_2 | | 19,5% MÍNIMO |
| CO | 25 | 0,0025% MÁXIMO |
| NO_2 | 0,2 | MÁXIMO |
| CO_2 | 5000 | 0,5% MÁXIMO |
| CH_4 | | 1% MÁXIMO |
| H_2S | 1 | 0,0001% MÁXIMO |

Verificación de estado de elementos de protección personal para poder hacer el ingreso a la mina:

Tabla 5. Verificación de acceso a la mina

| Elemento de protección personal y elementos para ingreso a mina | Estado | |
|--|---------------|-------------|
| | BUENO | MALO |
| Casco para minería con portalámparas. | | |
| Botas en PVC tipo industrial caña alta con puntera de seguridad. | | |
| Overol industrial en manga larga, con cintas reflectivas. | | |
| Guante en vaqueta. | | |
| Mascarilla o respirador facial de media pieza con sus respectivos filtros para material particulado. | | |
| Lámpara minera anti-explosión IP68 para casco. | | |
| Barbuquejo con mínimo tres puntos de anclaje al casco. | | |

Firma de formato de ingreso a la mina donde se especifica el nombre de la persona, el documento de identidad, tipo de sangre y hora de ingreso, dejando un espacio para una firma y hora de salida. Una vez realizado el proceso en el área de seguridad para poder ingresar a mina a realizar la toma de valores eléctricos del sistema de bombeo y sistema de ventilación, se realiza una verificación del estado de los materiales a utilizar en esta actividad, como lo son pinzas voltiamperimétricas, juego de destornilladores, juego de llaves y cinta aislante de colores.

La mina San Tomas cuenta con un sistema de 4 bocaminas o túneles los cuales algunos son usados para el ingreso y salida de los trabajadores de sus labores, como también para la extracción del carbón desde el interior de la mina, por estos mismos se hace el sistema de renovación de aire.

Para el primer y segundo túnel o inclinado (nombre técnico que reciben los túneles en la mina) cuenta con un sistema de bombeo para sacar desde el fondo de la mina toda el agua que se acumula a causa de la explotación minera o de la perforación del inclinado y del mismo drenaje que realiza el agua al estar bajo tierra.

Para estos dos inclinados se cuenta con un foso o tanquilla en lo más profundo del túnel donde

se recoge toda esta agua que se drena y ahí se almacena para su bombeo al exterior de la mina, el sistema de bombeo de estos dos inclinados se realiza implementando dos electrobombas las cuales impulsan el agua desde lo más profundo por medio de las tuberías hasta llevarlo a una tanquilla de tratamiento de agua en exterior, donde esta agua recibe un tratamiento para eliminar residuos y así evitar la contaminación del medio ambiente.

Estas electrobombas se controlan por sensor de nivel tipo flotador en las tanquillas al final de los inclinados, estos sensores funcionan de la siguiente manera, una señal para marcar el nivel alto en la tanquilla la cual da la partida para el encendido de las electrobombas y una señal de nivel bajo para el apagado de las mismas.

La tanquilla de los inclinados 1 y 2 se encuentra a 220m de profundidad, para sacar el agua desde este punto se utilizan dos electrobombas conectadas en serie para así suplir la gran distancia de profundidad hasta la tanquilla exterior, esto se hace ya que a la profundidad trabajada una sola bomba presentaría pérdidas de presión no logrando la función de extraer el agua acumulada y presentaría daños en esta electrobomba ya que se recalentaría en el proceso.

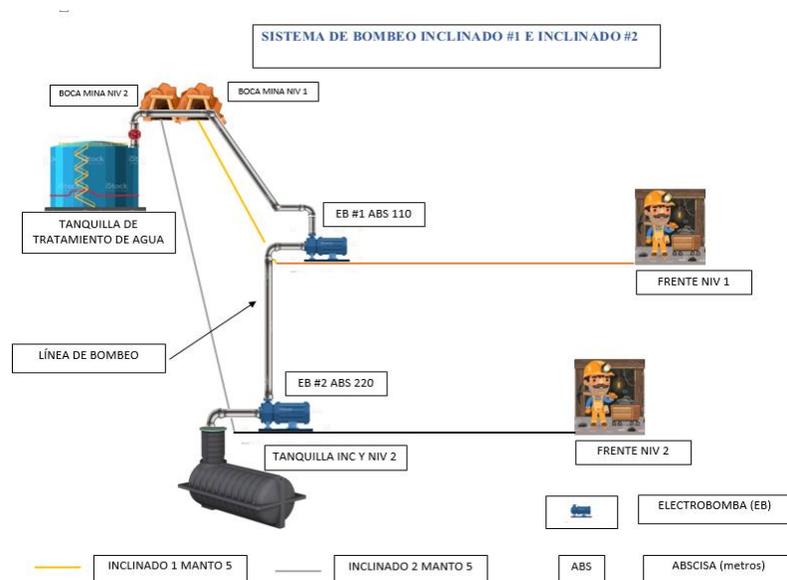


Figura 15. Sistema de bombeo en los inclinados 1 y 2

Las electrobombas usadas para extraer el agua desde la tanquilla presentan las siguientes características:

Tabla 6. Características de las electrobombas inclinado 3

| Descripción | Electrobomba 1 | Electrobomba 2 |
|---------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Voltaje | 220/440 V | 220/440 |
| Corriente | 12.3 A | 12.5 A |
| Potencia (Hp) | 10 Hp | 10 Hp |
| Cuerpo electrobomba | Hierro fundido ASTMA-48, Clase 30 | Hierro fundido ASTMA-48, Clase 30 |
| Tipo de bomba | Centrifuga Monobloque | Centrifuga Monobloque |
| Succión Ø | 2" | 2" |
| Descarga Ø | 2" | 2" |
| Peso (Kg) | 93 | 93 |
| Caudal (gpm) | 130 | 130 |
| Altura máxima (m) | 124 metro por columna | 124 metro por columna |

Las electrobombas son usadas en la configuración serie como anteriormente se mencionó y la primera electrobomba se encuentra a una profundidad de 220m y la segunda electrobomba se encuentra a una profundidad de 110m, de este modo las electrobombas pueden extraer el agua de la tanquilla al final de los inclinados hasta la tanquilla externa donde se trata, gracias a esta configuración de las electrobombas se aumenta la capacidad de altura vertical que elevan, evitan daños de las mismas ya que no se fuerzan.

Para el inclinado 3 se usa la misma configuración de electrobombas en serie pero para el caso se usan 3 ya que la tanquilla de recolección de agua se encuentra a una profundidad de 320m, como es un inclinado de mayor profundidad, la primera electrobomba se encuentra a 320m, la segunda electrobomba se encuentra a 170m de profundidad y la tercera electrobomba se encuentra a 60m de profundidad la cual termina de extraer el agua hasta la tanquilla donde se almacena agua extraída para su tratamiento y así evitar contaminación ambiental.

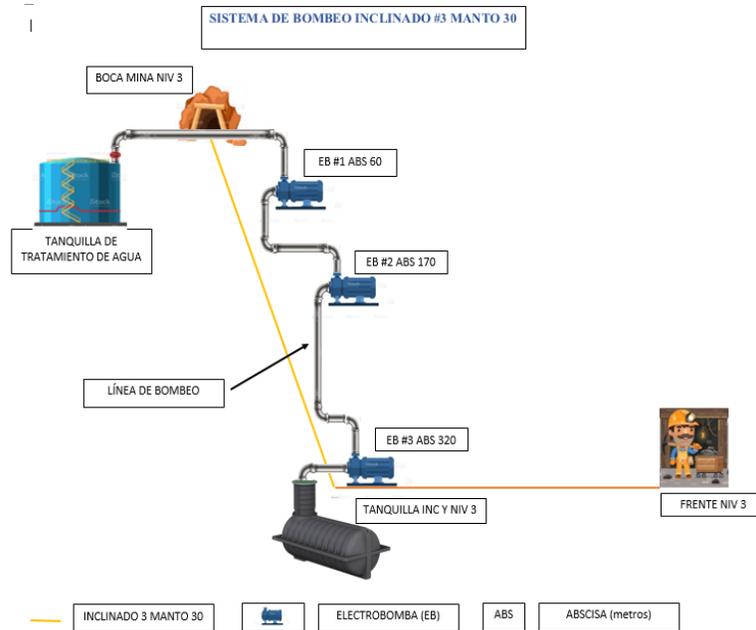


Figura 16. Sistema de inclinado #3

Para el inclinado 3 se cuenta con 3 electrobombas conectadas en serie presentan las siguientes características.

Tabla 7. Características de las electrobombas 1 y 2

| Descripción | Electrobomba 1 | Electrobomba 2 | Electrobomba 3 |
|---------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Voltaje | 220/440 V | 220/440 V | 220/440 V |
| Corriente | 8.5 A | 18.5 A | 23.5 A |
| Potencia (Hp) | 7.5 Hp | 15 Hp | 25 Hp |
| Cuerpo electrobomba | Hierro fundido ASTMA-48, Clase 30 | Hierro fundido ASTMA-48, Clase 30 | Hierro fundido ASTMA-48, Clase 30 |
| Tipo de bomba | Centrifuga Monobloque | Centrifuga Monobloque | Centrifuga Monobloque |
| Succión Ø | 2" | 2" | 3" |
| Descarga Ø | 2" | 2" | 3" |
| Peso (Kg) | 63 | 98 | 155 |
| Caudal (gpm) | 118 | 140 | 170 |
| Altura máxima (m) | 118 metro por columna | 150 metro por columna | 175 metros por columna |

Para cada una de las electrobombas de extracción de agua en los inclinados 1,2 y 3 cuentan con un sistema de arranque directo, y cuentan con sistema de guarda motor para la protección y mayor vida útil de cada una de las electrobombas.

Este arranque directo de cada una de las electrobombas actualmente cuenta con un guardamotor que nos proporciona una protección contra cortocircuitos o sobrecargas. Este mismo arranque está dotado de un seguidor de fase que una vez en marcha el motor nos desactivara el circuito ante una caída de voltaje significativa o total. Por otro lado, también podemos encontrar los indicadores led que indican el estado del equipo: marcha, parada, falla.

El sistema de bombeo actualmente requiere la disponibilidad de una persona de mantenimiento especializada que está constantemente revisando el estado de las electrobombas sus valores eléctricos y caudales de flujo de agua para analizar anomalías en el sistema y poder controlar las fallas con el fin de evitar emergencias y paros en la producción.

3.1 Sistema De Ventilación

Como se mencionó la mina San Tomas cuenta con 3 inclinados y 4 niveles o 4 túneles los cuales conducen a los frentes de trabajo donde se encuentran los mineros, para generar y mantener un ambiente óptimo de trabajo para el personal, no solamente libre de gases sino a una temperatura en la cual se pueda trabajar, se usa un sistema de ventilación la cual está compuesta por un sistema que impulsa el aire desde el exterior al interior y lo hace recorrer toda la mina y al final también con extractores que sacan el aire contaminado (viciado) desde cada uno de los frentes, hasta el exterior de la mina donde se libera al ambiente. (Véase figura siguiente).

Características eléctricas. Para el sistema de ventilación todos los motores cuentan con un sistema de arranque directo que como mencionamos anteriormente cuenta con su respectivo guarda motor, seguidor de fase e indicadores led, a continuación, se presenta las características

eléctricas de cada uno de los ventiladores usados al interior de la mina para circulación forzada del aire.

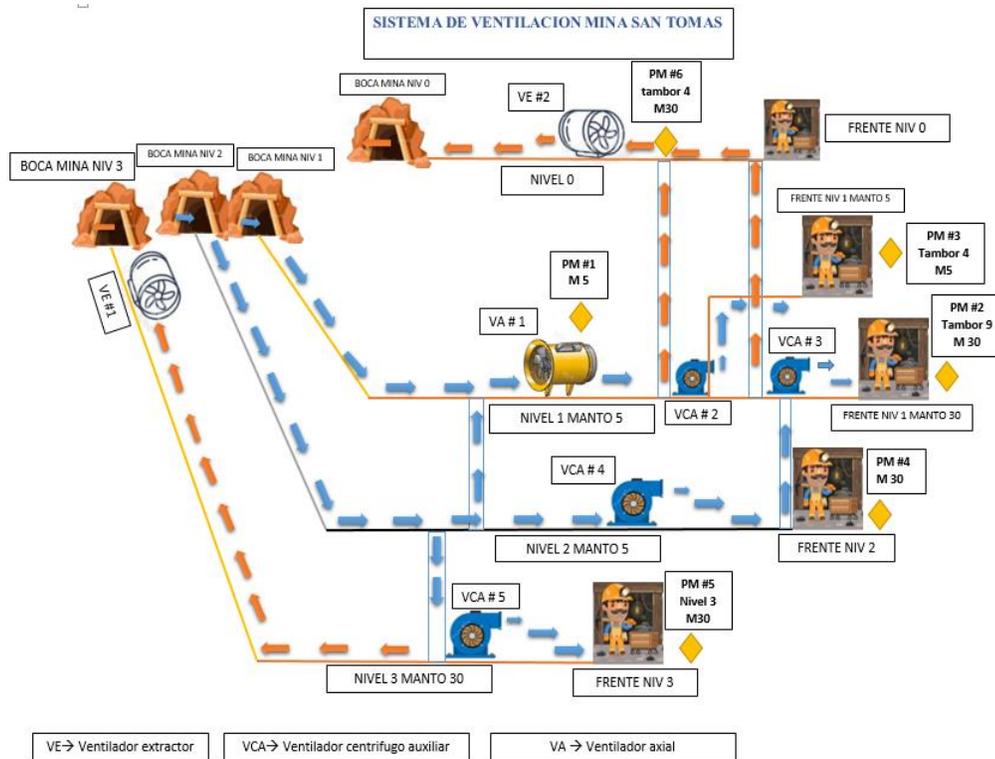


Figura 17. Sistema de ventilación de la mina San Tomas

Tabla 8. Cuadro característico de los ventiladores

| Equipo | Voltaje (V) | Corriente (A) | Potencia (Hp) |
|--------------------------------------|-------------|---------------|---------------|
| Ventilador extractor VE#1 | 440 | 5.8 | 5 |
| Ventilador extractor VE#2 | 440 | 12 | 10 |
| Ventilador axial VA#1 | 440 | 25.49 | 20 |
| Ventilador centrifugo auxiliar VCA#2 | 440 | 5.66 | 7.5 |
| Ventilador centrifugo auxiliar VCA#3 | 440 | 4.03 | 4.8 |
| Ventilador centrifugo auxiliar VCA#4 | 440 | 4.24 | 4.8 |
| Ventilador centrifugo auxiliar VCA#5 | 440 | 3.23 | 4.8 |

La tabla anterior indica los voltajes, corrientes de consumo eléctrico promedio de cada uno de los ventiladores ubicados a lo largo de la mina los cuales hacen circular el aire, a su vez la potencia

en Hp de cada uno. Partiendo de la información y características eléctricas del sistema de bombeo de los inclinados y el sistema de ventilación se realiza el siguiente diagrama unifilar de la mina.

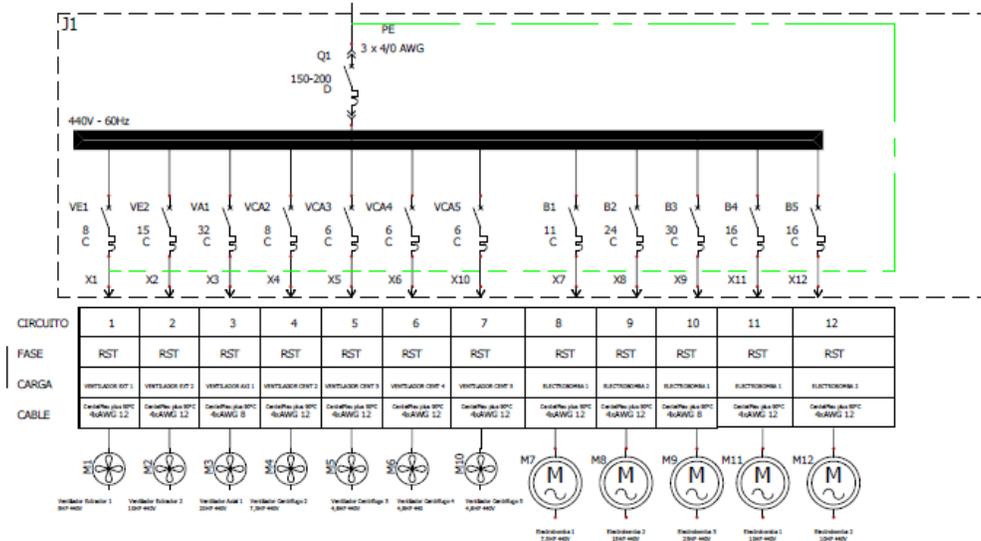


Figura 18. Diagrama unifilar de la mina San Tomas

Como podemos observar en la gráfica #18 este diagrama unifilar nos presenta 7 equipos involucrados en el sistema de ventilación (ventiladores y extractores) y 5 equipos más que hacen parte del sistema de extracción de agua(electrobombas).



Figura 19. Medida de variables eléctricas en la mina San Tomas

Como se observa en la imagen se realizó las medidas de las variables eléctricas de cada uno de equipos los ubicados en la mina involucrados tanto en la ventilación como la extracción de agua, se siguieron los protocolos de seguridad para el descenso, traslado hasta el lugar y toma de medida, se usaron equipos de medida adecuados para evitar errores de medida e información incorrecta.

Esta toma de medidas, se realizó primero que todo analizando el estado del equipo revisando averías en sus partes mecánicas, una vez se verifica el buen estado del equipo, se procede a encenderlo para que así sus medidas eléctricas sean correctas y no tengamos valores fuera de los parámetros indicados.

3.2 Informe De Gases

Para la medición de los gases al interior se cuentan con 6 puntos de medida que son cada uno de los frentes de trabajo con los que cuenta la mina los cuales son cuatro (4), un punto intermedio de medida el cual está en el nivel la mitad de camino desde la boca mina de entrada y los diversos frentes de trabajo, y el último punto de medida se encuentra cerca del frente del nivel 0 ya que es la ruta de salida de la ventilación.

La medición de los gases se realiza tres veces al día, todos los días en el cual se trabaja, se realizan dos mediciones en la mañana de forma manual en cada uno de los puntos antes mencionados una antes de entrar todo el personal a laboral (5 de la mañana) y otra durante el transcurso de la mañana (9 de la mañana); la medición en la tarde igualmente antes de ingresar todo el personal (2 de la tarde) se procede a hacer el recorrido y la medición de gases de forma manual en cada uno de los puntos.

Este proceso de medición de gases y puesta en marcha de los equipos de ventilación es realizado por 4 personas que están a cargo de este sistema, las cuales, para evitar desgaste durante

su jornada laboral, se dividen las tareas por niveles o áreas, lo cual muchas veces no da mucha confianza a los informes que se realizan de las mediciones.

En la medición de gases en cada uno de los frentes de trabajo se tienen 6 gases a medir y llevar registro, estos gases son monitoreados para evitar que se acumulen y presenten atmosferas peligrosas las cuales pueden causar asfixia a los trabajadores o en el peor de los casos exposiciones al interior de la mina. Los gases a medir y llevar el registro son:

- Dióxido de carbono
- Monóxido de carbono
- Oxígeno
- Ácido sulfhídrico
- Metano
- Dióxido de nitrógeno

Para poder hacer la verificación y toma de datos de los puntos de medida de gases en la mina, se realiza el ingreso a las labores; como se mencionó anteriormente para poder hacer el ingreso se debe firmar el formato de ingreso a mina en la oficina de seguridad y además de eso verificar que cada uno de los elementos de protección personal se encuentre en buen estado.

Después de tener todo listo para ingresar se verifica que el multidetector que se encuentre en buen estado, luego se procede a realizar la calibración de este, que consiste en buscar un lugar de aire fresco para encender el monitor y que sus sensores registren niveles de gases conocidos por un tiempo determinado, verificando así que sus medidas son correctas.

Una vez estamos ubicados en el punto de medida de gases, tomamos el multidetector y se hace un barrido en forma de zigzag tratando de ubicar los gases como se observa en la imagen, seguidamente se apunta en la libreta o borrador y respectivos tableros dentro de la mina, una vez

estando fuera de la mina estos datos son llevados a la oficina de seguridad para ser registrado en su formato correspondiente.

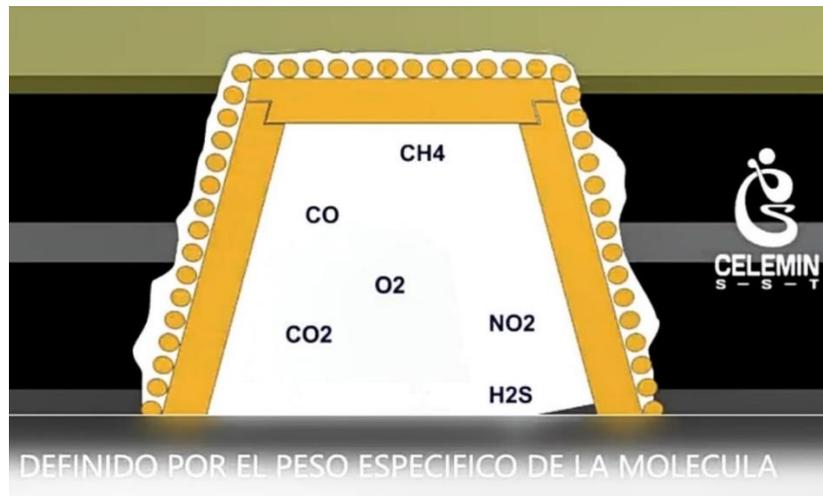


Figura 20. Ubicación de gases dentro del túnel de explotación

Fuente: (CELEMINERO, 2019)

Para la toma de medidas de gases y verificación de estas en cada uno de los puntos de interés para este proyecto, se contó en el apoyo de un supervisor de seguridad quien acompañó cada una de las medidas y verificó su correcta toma y registro en el documento, tal cual como puede evidenciarse en el anexo 2. Igualmente, en el anexo 3, se soporta el documento de registro, proporcionado por el personal de seguridad, con el reporte de gases diario de la mina, para poder verificar nuestras medidas que estuvieran dentro de los rangos correctos y a su vez tener en cuenta estos valores a la hora de analizar los puntos de medida donde se asignara la lectura del sensor para el diseño del SCADA.

De los puntos de medida de gases se resalta los puntos de medida PM#4, PM#5 y PM#6, que son dos frentes de trabajo en el nivel 2 y 3, y antes de la salida de la boca mina por donde sale todo el aire forzado por la ventilación. En estos puntos se toman la medida de los siguientes gases: Monóxido de Carbono, Dióxido de Carbono, Oxígeno, Ácido Sulfhídrico, Metano y Dióxido de

Nitrógeno.

Tabla 9. Niveles de gases en los puntos de medida

| Gas / Ubicación | PM#4 | PM#5 | PM#6 |
|------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Dióxido de Carbono | 0.37% | 0.34% | 0.33% |
| Monóxido de Carbono | 0 | 0 | 0 |
| Oxígeno | 20.4% | 20.4% | 20.3% |
| Ácido Sulphídrico | 0 | 0 | 0 |
| Metano | 0 | 0 | 0 |
| Dióxido de Nitrógeno | 0 | 0 | 0 |

Los informes cada día se guardan para tener un registro y soporte de las mediciones de los gases en los diversos puntos de la mina ya que cuando se presente una eventualidad o riesgo por algún gas, se tiene un soporte para analizar y así tener una trazabilidad del comportamiento y se puede tener una mejor reacción frente a la eventualidad presentada ya que se puede detectar donde se provoca o hay una mayor concentración de gas.

Estas medidas se toman basándose en el del decreto 1886 de 2015 del Ministerio de Minas y Energía, establece y actualiza el reglamento de seguridad en las labores mineras subterráneas (Minas, 2015), en el decreto se reglamenta los parámetros que debe reunir como mínimo el aire comprimido o suministrado a través de la ventilación forzada para garantizar la seguridad y protección del personal que se encuentra laborando al interior de la mina.

- Contenido de Oxígeno: 19.5% a 23.5%
- Condensado de hidrocarburos menor a $5 \text{ mg}/\text{m}^3$ de aire.
- Monóxido de carbono menor a 10 ppm.
- Dióxido de carbono menor a 1000 ppm.
- Libre de olores y otros contaminantes.

El decreto regula y se toma como guía para los valores a medir ya que estos valores garantizan

un ambiente óptimo para el desarrollo de la explotación minera subterránea, evitando acumulaciones de gases que puedan ocasionar asfixia o atmosferas explosivas por acumulación de gases que a la menor chispa pueda causar una explosión.

Tabla 10. Niveles de gases

| GASES | FÓRMULA | TLV -TWA (ppm) | TLV - STEL (ppm) |
|----------------------|------------------|-------------------|---------------------|
| Dióxido de Carbono | CO ₂ | 5000 | 30000 |
| Monóxido de Carbono | CO | 25 | - |
| Ácido Sulhídrico | H ₂ S | 1 | 5 |
| Anhidrido Sulfuoso | SO ₂ | - | 0.25 |
| Óxido Nítrico | NO | 25 | - |
| Dióxido de Nitrógeno | NO ₂ | 0.2 | - |

Nota: El volumen de oxígeno en la atmosfera de la mira no debe ser inferior al 19,5 % o más del 23,5 % en volumen de oxígeno.

Fuente: (Ministerio de Minas y Energía, 2015)

Todos los pasos para la toma de medidas se basan y siguen las recomendaciones del decálogo de ventilación en labores subterráneas en Colombia (Agencia Nacional Minera, 2020), en el cual se dan los pasos a seguir cuando se toman las mediciones y se almacenan los registros que realizan constantemente en la mina, ya que se debe llevar un informe detallado donde toda la organización jerárquica de la mina debe estar informada, así, como los requerimientos de capacitación, plan de entrenamiento y mecanismo de seguimiento del mismo.

3.3 Instrumentos De Medición

El instrumento usado para la medición de gases es un Drager X-am 5600, el cual es un equipo de medición de múltiples gases, el cual es usado por el operario al interior de la mina en cada punto de medición establecido para realizar el registro de medida.

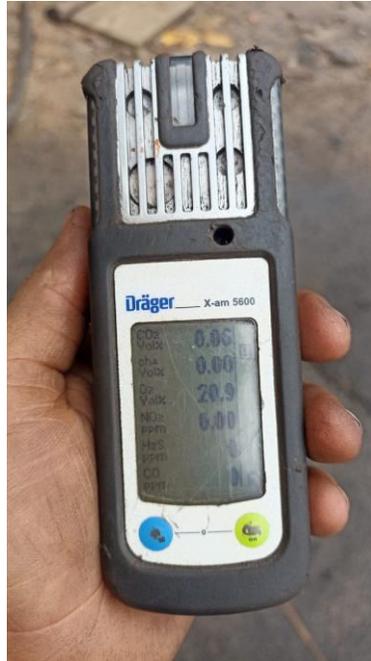


Figura 21. Dräger X-am 5600

Con este dispositivo de medición se recorre toda la mina y se hace la medición de los gases que hay al interior de la mina y se hace el registro, el dispositivo cuenta con una pantalla en la cual indica los valores de cada uno de los gases a medir haciendo la lectura más práctica, también cuenta con una alarma integrada, la cual se activa cuando alguno de los gases a medir esta fuera de los límites permitidos para el trabajo del personal al interior de la mina.

- 1 Indicación de los valores de medición
- 2 Indicación de los valores de medición con unidad
- 3 Símbolo especial para 5 y 6 canales de medición:
- 4 Indicación del gas de medición con unidad
- 5 Indicación de los valores de medición
- 6 Símbolo especial

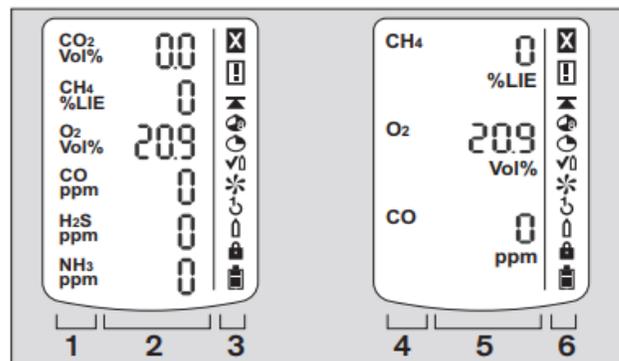


Figura 22. Pantalla del Dräger X-am 5600

Como se ve en la figura el dispositivo cuenta con una pantalla que ofrece toda la información de los gases a medir, este dispositivo es de vital importancia en la mina ya que gracias a él se realiza la exploración del ambiente al interior de la mina antes que ingresen todos los trabajadores a realizar su labor diaria, este equipo está bajo constante revisión ya que si llega a presentar una falla, no realizaría la medición correcta la cual puede traer consecuencias graves.



Figura 23. Dräger X-am 5600 indicando una alarma

El equipo como se observa está en modo alarma, el cual se activa como se mencionó anteriormente cuando detecta una anomalía en el ambiente y el equipo activa una alarma sonora, una luz roja y vibra para indicar al operador que está en un ambiente peligroso para que se retire y toma las medidas necesarias eliminar el gas peligroso del ambiente. El equipo al indicar la alarma en la pantalla muestra el gas por el cual salto la alarma y el valor del mismo haciendo más fácil la detección y posterior corrección del mismo.

El dispositivo de medición está en constante revisión y calibración para que siempre este en óptimas condiciones para realizar las mediciones al interior de la mina, ya que si presenta una falla o des calibración afecta la medición y por la cual pone en riesgo a todo el personal que labora en

la mina San Tomas, por esta razón se envía a un laboratorio especializado para su revisión de forma periódica y el cual certifica su buen estado para uso en la medición de gases en los diferentes puntos al interior de la mina. La mina cuenta siempre con dos medidores de gases Drager X-am 5600 los cuales se realizan mediciones y se comparan las medidas para ver si hay diferencias en los gases o anomalías que puedan indicar una falla o des calibración en los equipos

3.4 Ventilación

Como ya se mencionó la mina cuenta con sistema de ventilación forzada la cual cuenta con diferentes tipos de ventiladores y extractores distribuidos en diferentes niveles al interior de la mina los cuales hacen circular el aire desde el exterior a cada uno de los diferentes frentes de trabajo y a su vez lograr sacar ese aire viciado al exterior por los tambores o niveles de ventilación, esto con varios propósitos.

El primer objetivo de la ventilación es hacer circular el aire fresco por cada uno de los frentes de trabajo para renovarlo constantemente y así sacar del interior de la mina los gases que se van acumulando por la explotación o por la emanación de la tierra, para este punto es importante el cálculo topográfico del caudal de ventilación.

El cálculo de ventilación parte del caudal necesario para la respiración del personal que se encuentra trabajando al interior de la mina. Para el caso de la mina San Tomas es de 40 mineros que se encuentran ejerciendo sus labores al interior de la mina.

Para los cálculos de caudales requeridos para la mina San Tomas se parte de la guía de ventilación de minas basada en el reglamento de seguridad minera (Minera D. d., 2008), el cual es una guía donde se parte de recomendaciones para la ventilación interna y el cálculo de caudales requeridos aire para cada operación, partiendo de la cantidad de trabajadores, para diluir los gases generados por voladura, diluir el gas grisú y para remover los polvos al interior de la mina.

$$Q_1 = 40 * 3m^3/min$$

$$Q_1 = 120m^3/min$$

Donde Q_1 es el caudal necesario para el personal al interior de la mina.

También se debe determinar el caudal requerido para eliminar el gas grisú, el cual se compone de una mezcla de metano y oxígeno que puede llegar a ocasionar explosiones.

$$Q_2 = K * P$$

$$Q_2 = 1.75m^3/min * 120m$$

$$Q_2 = 210m^3/min$$

Y se determina el caudal necesario para diluir los gases que se generan por voladura al interior de la mina.

$$Q_3 = \alpha * A * T$$

Donde A es la cantidad de explosivos empleado en la voladura Kg/día; T el tiempo de espera para entrar a la mina después de la voladura; y α la constante de $0.04 m^3/Kg$

$$Q_3 = 0.04m^3/Kg * \frac{12Kg}{dia} * 60min$$

$$Q_3 = \frac{48 m^3/dia}{0.18 min} = 100 m^3/min$$

Siendo $Q_3 = 100 m^3/min$ el caudal necesario para diluir los gases provocados por voladura.

Ahora se determina el caudal requerido para diluir los polvos en la mina.

$$Q_3 = (Ad + Ap + Ae) * (c)$$

Donde A_d es el área de la vía de desarrollo en m^2 ; A_p el área de la vía de preparación m^2 ; A_e sección de la zona explotación en m^2 y c la constante de dilución de polvos $m^3/min * m^2$

$$Q_3 = (3.2m^2 + 1.3m^2 + 600m^2) * (0.15m^3/min * m^2)$$

$$Q_3 = 90.67m^3/min$$

Y por último el caudal encargado de diluir los otros gases.

$$Q_t = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$Q_t = 520.67m^3/min$$

Siendo Q_t el caudal total a requerir por la mina, pero antes se aplica un factor de seguridad del 30% para nunca trabajar con el caudal mínimo requerido.

$$Q_t = 520.67m^3/min * 1.3$$

$$Q_t = 686.67m^3/min$$

La mina necesitara un caudal de $686.67m^3/min$ de aire para mantener un ambiente seguro para todo el personal que se encuentre al interior de la mina (Moreno, 2021).

Los cálculos de la ventilación se basan en la actualización del programa de trabajos y obras desarrolladas por el ingeniero en minas Rodrigo Quilaguy, experto en análisis de explotación minera subterránea que realizo la actualización del programa de funcionamiento de la mina San Tomas en el 2021

El otro objetivo de la ventilación en la mina es mantener una temperatura adecuada para todo el personal que se encuentre al interior de la mina ya que unas altas temperaturas causarían una deshidratación severa, afectaciones al sistema nervioso central y posteriormente la muerte.

3.5 Instrumentación Y Equipos Requeridos

En el desarrollo del proyecto se tienen variables de medida que son de forma directa y que son

el objetivo de desarrollo del proyecto que son los niveles de gases y los niveles de agua al interior de la mina, y las variables de medida de forma indirecta como son los variables eléctricas de los equipos de ventilación y bombeo ya que gracias a ellas se sabe el comportamiento del funcionamiento en el sistema.

Variables directas. Las variables directas son como se mencionó los niveles de cada uno de los gases como son:

- Dióxido de carbono
- Monóxido de carbono
- Oxígeno
- Ácido sulfhídrico
- Metano
- Dióxido de nitrógeno
- Niveles del agua en cada uno de los inclinados:

Inclinado 1-2 a 220 m

Inclinado 3 a 320 m

Estas variables son el objetivo principal del desarrollo del proyecto ya se monitorean 24 horas para conocer los niveles en tiempo real y así evitar incidentes dentro de la mina como pueden ser asfixia de los trabajadores, explosiones por acumulaciones de gases y/o inundaciones.

Variables indirectas. Las variables indirectas son las variables eléctricas de los equipos de ventilación y bombeo ya que gracias a ellas se puede conocer el funcionamiento de cada uno de los equipos en tiempo real, saber si están funcionando de forma correcta o alguno presenta falla. Y otra variable es el caudal de ventilación dentro de la mina ya que gracias a esta se disipa los gases que se acumulan dentro de la mina.

3.6 Selección De Sensores

Para la selección de sensores se realiza por medio de una matriz de pugh la cual nos indicara cual es el sensor más adecuado para ser usado en el proceso de medición de los 6 gases mencionados anteriormente, para esto se deben tener en cuenta los siguientes aspectos, protocolo de comunicación, costo, grado de protección para ambientes peligroso, sensibilidad de medida. Para realizar la matriz de pugh se le dan unos pesos a cada aspecto para así realizar una sumatoria al final para cada sensor.

Tabla 11. Selección de sensores

| N° | Nombre del dispositivo | Características | Costos |
|----|------------------------|---|---|
| 1 | Serie MQ | <p>Sensores con funcionamiento a 5V. Detecta 5 tipos de gases de los 6 requeridos para el proyecto (no detecta ácido sulfhídrico). Salida análoga de 5V la cual necesita adaptarse para usar con el protocolo de lazo de corriente para comunicar con el PLC. Toca adaptarles el encapsulado para el ambiente peligroso.</p> | <p>180 dólares</p>  |
| 2 | New SD-3 gas detector | <p>Sensores con funcionamiento a 24V. Detecta 80 tipos de gases con solo cambiar el sensor catalítico interno del encapsulado. Funciona con el protocolo de lazo de corriente de 4-20mA para comunicar con el PLC. El encapsulado es resistente a ambientes peligrosos.</p> | <p>1200 dólares c/u</p>  |
| 3 | Sensepoint XCD | <p>Sensor con funcionamiento a 24V. Detecta los 6 tipos de gases trabajados en el proyecto, cuenta con salida ON/OFF para activar alarmas ya que no cuenta con protocolo de lazo de corriente para la comunicación con el PLC. Cuenta con un encapsulado robusto y resistente para ambientes peligrosos.</p> | <p>495 dólares</p>  |

Tabla 12. Matriz de pugh sensores de gases

| CRITERIO | PESO | SENSOR | | |
|---------------------------|------|--------|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 |
| Costo (\$) | 1 | 1 | 0 | 0 |
| Protocolo de comunicación | 2 | 0 | 1 | 0 |
| Grado de protección | 2 | 0 | 1 | 1 |
| Adaptabilidad | 1 | 0 | 1 | 1 |
| Suma pondera | | 1 | 5 | 3 |

De acuerdo a la anterior matriz de pugh donde se hace la respectiva comparación y selección del sensor a usar, se obtiene que el sensor más adecuado para el trabajo es el sensor N° 2, el sensor New SD-3 gas detector, siendo el mayor puntaje obtenido en la suma ponderada con 5. Con esta información se procede a seguir a definir la estrategia de control y el desarrollo del SCADA.

3.7 Estrategia De Control

Para el sistema de control se va a dividir en dos partes principales del proyecto, el sistema de control para el bombeo de agua al interior de la mina y el sistema de ventilación de la mina para diluir los gases.

Para el sistema de bombeo de agua se va usar un sistema de lazo cerrado el cual se apoyará en los sistemas de nivel de cada tanquilla los cuales serán un sistema alto cuando la tanquilla se encuentre a un 80% de llenado y un sistema bajo cuando la tanquilla se encuentre por debajo del 20% de llenado, este lazo de control cerrado se usará para ambos inclinados y se usarán sensores de nivel tipo flotador eléctrico para enviar las señales de alto y bajo.

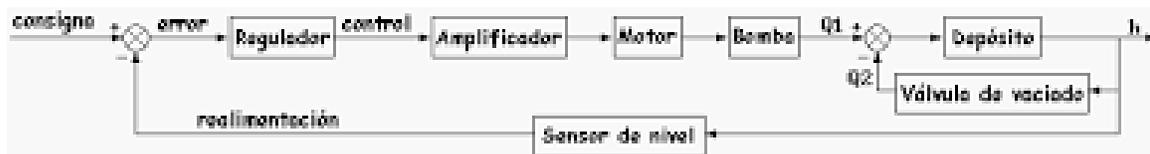


Figura 24. Lazo de control bombeo

Para el sistema de control de ventilación y disolución de gases al interior de la mina se usa un sistema de lazo cerrado, ya que se necesita tener un control automático de la ventilación al interior

de la mina, para cuando se presenten niveles altos o por fuera de lo normal de cualquier gas el sistema de ventilación entre en funcionamiento para hacer circular el aire y así evacuar la cantidad de gases que se van acumulando y evitar la creación de atmosferas peligrosas que puedan ocasionar accidentes o explosiones al interior de la mina.

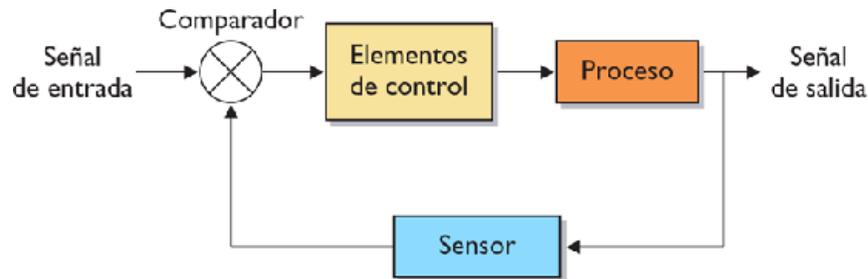


Figura 25. Lazo de control ventilación

Los sistemas de control de lazo cerrado son la mejor opción para el sistema de control ya que el PLC toma por sí mismo las decisiones de acuerdo a cada una de las variables a medir.

Diagrama de flujo bombeo. De acuerdo al anterior diagrama de flujo donde se explica el sistema de control de lazo cerrado para el sistema de bombeo de cada uno de los inclinados de la mina (inclinado 1-2 e inclinado 3), para lo anterior se basa en los sensores de nivel en cada una de las tanquillas, estos sensores dan una señal baja cuando la tanquilla está por debajo de un 20% del nivel de agua, esta da la señal al PLC para apagar la electrobomba y cuando el nivel está por encima del 80% da una señal de nivel alto la cual indica al PLC que debe encender la electrobomba para evacuar el agua de la tanquilla ya sea para la siguiente tanquilla o al tanque de tratamiento de agua fuera de la mina llegado el caso.

Este sistema de bombeo funciona igual para cada una de las tanquillas que se encuentran a cada inclinado al interior de la mina, evitando así trabajar las electrobombas en serie desde el fondo del inclinado donde se acumula el agua hasta la salida del inclinado de forma directa.

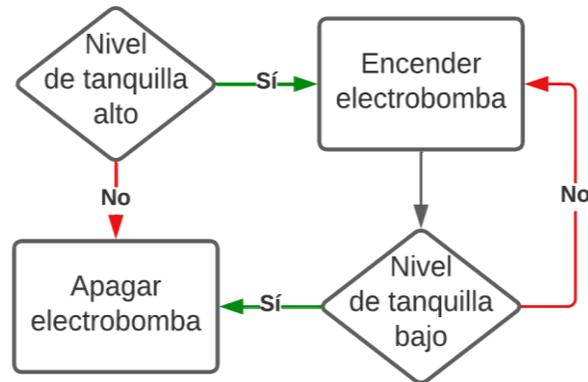


Figura 26. Diagrama de bombeo

En este sistema de control de bombeo se mide también la corriente de línea de cada uno de los motores de las electrobombas en tiempo real, lo cual se hace para tener un monitoreo constante del funcionamiento de los motores para saber si están funcionando de forma correcta o presenta alguna falla.

Diagrama de flujo de ventilación. Para la programación del sistema SCADA de ventilación hay que tener en cuenta unos valores límites permisibles para cada uno de los 6 gases definidos que intervienen en este proceso, estos valores se tomaron teniendo en cuenta lo que nos indica la norma 1886 de 2015 y según los valores que establece el área de seguridad de la mina san tomas lo cual se muestra en la tabla 10. Niveles de gases.

Cabe resaltar que estos valores límites permisibles, solo se estudiaron para tener en cuenta el modo de programación de las alarmas; nivel alto o nivel bajo y si esta medida es en ppm (partes por millón) o en % (porcentaje), dado que el SCADA contará con una pantalla de set-points donde le permitirá a la persona encargada modificar cualquier nivel de gas a monitorear.

Es por esta razón que el sistema de control de ventilación de la mina se mide en diferentes puntos a lo largo de la mina en los diferentes inclinados.

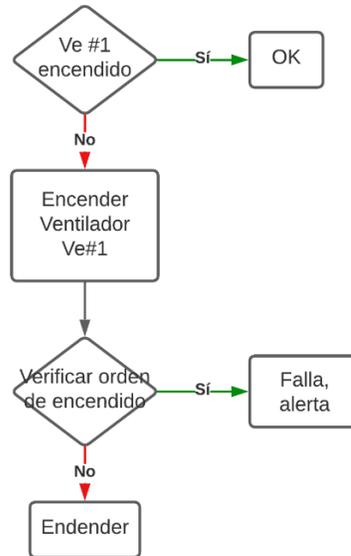


Figura 27. Diagrama ventilación Ve#1

Empezando por el punto de ventilación #1 (Ve#1) la cual es el ventilador extractor #1 el cual es el que extrae el aire de la mina a la salida de la mina el cual se debe mantener siempre encendido para extraer el aire viciado de la mina, cuando este ventilador falla debe indicar una alarma al cuarto de control para proceder a verificar y si es llegado el caso alertar al interior de la mina y evacuar el personal si es necesario.

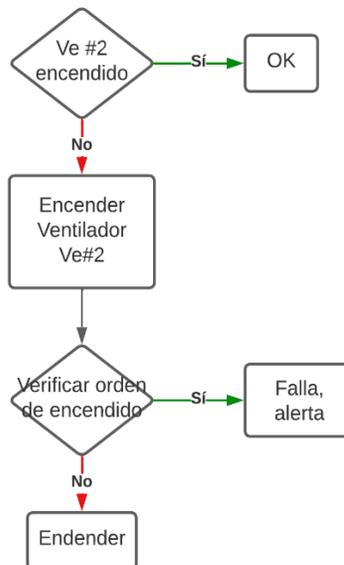


Figura 28. Diagrama ventilación Ve#2

Ventilador extractor #2 (Ve#2) se encuentra en el nivel cero de la mina el cual extrae el aire contaminado o viciado de la mina y lo impulsa a hacia la salida de la mina y así evacuarlo, este ventilador se debe mantener siempre encendido mientras se labore para sacar el aire de los niveles inferiores de la mina, si este falla se debe indicar una alarma al cuarto de control para proceder a verificar y enviar una cuadrilla para reparar la falla si es llegado el caso y alertar al interior de la mina si los niveles de gases superan los límites normales.

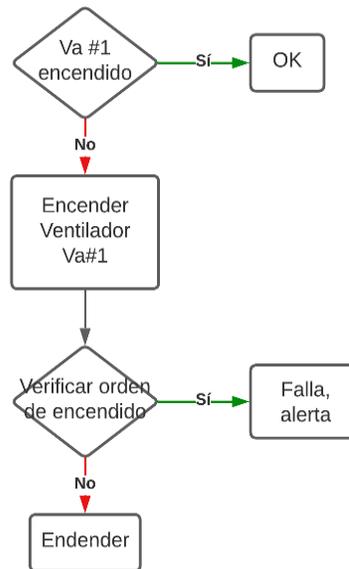


Figura 29. Diagrama ventilación Va#1

Ventilador impulsor #1 (Va#1) se encuentra en la mitad del nivel 1 el cual es el que impulsa el aire desde el exterior al interior de la mina, el cual inyecta aire fresco a lo largo de los diferentes inclinados y túneles de la mina, este ventilador siempre debe mantenerse encendido por esta razón si presenta una falla y se apaga se debe alertar al cuarto de control para proceder a verificar y enviar una cuadrilla para verificar y llegado el caso a reparar, y si los niveles de los gases suben al interior de la mina se procede a evacuar.

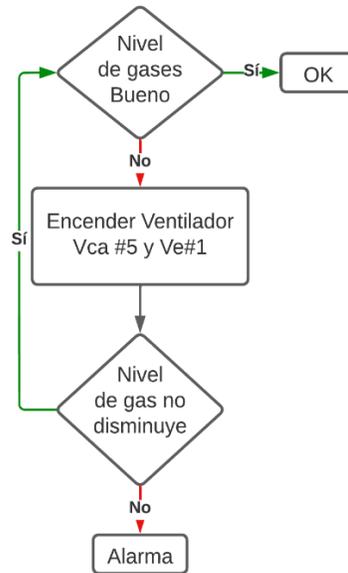


Figura 30. Punto de medida PM#5

Punto de medida #5 (PM#5), en este punto de medida se parte si la calidad del aire es buena o mala, ya que en este punto se encuentra un sensor el cual se mantiene midiendo los niveles de cada uno de los gases, cuando todos los gases se encuentra en el rango de medida estándar envía información al cuarto de control donde recibe la información de calidad de aire bueno, cuando alguno de los gases esta fuera de los rangos de medida normal el ambiente es malo y por tal motivo enciende el ventilador #5 (Vca #5) y el ventilador #1 (Ve #1) hasta volver a tener una atmosfera con una buena calidad de aire. Si llegado el caso el sistema de ventilación se mantiene encendido y la atmosfera es mala ya sea por cualquier gas saltara una alerta en el cuarto de control ya que puede ser una falla grave o una gran acumulación de gases al interior de la mina y se necesite la evacuación del personal. (Véase figura siguiente).

Punto de medida #2 (PM#2), en este punto de medida se parte si la calidad del aire es buena o mala, ya que en este punto se encuentra un sensor el cual se mantiene midiendo los niveles de cada uno de los gases, cuando todos los gases se encuentra en el rango de medida estándar envía Información al cuarto de control donde recibe la información de calidad de aire bueno.

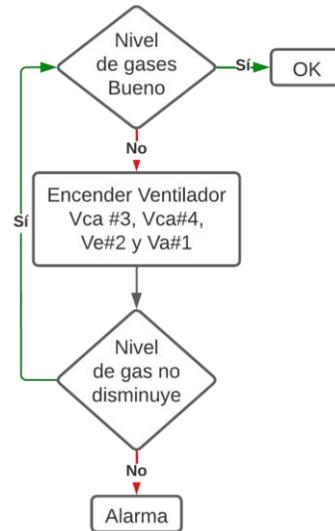


Figura 31. Punto de medida PM#2

Cuando alguno de los gases esta fuera de los rangos de medida normal el ambiente es malo y por tal motivo enciende el ventilador #3 (Vca #3), el ventilador #4 (Vca #4), el ventilador #2 (Ve #2) y el ventilador #1 (VA #1) hasta volver a tener una atmosfera con una buena calidad de aire.

Si llegado el caso el sistema de ventilación se mantiene encendido y la atmosfera es mala ya sea por cualquier gas saltara una alerta en el cuarto de control ya que puede ser una falla grave o una gran acumulación de gases al interior de la mina y se necesite la evacuación del personal. (Véase figura siguiente).

Punto de medida #4 (PM#4), en este punto de medida se parte si la calidad del aire es buena o mala, ya que en este punto se encuentra un sensor el cual se mantiene midiendo los niveles de cada uno de los gases, cuando todos los gases se encuentra en el rango de medida estándar envía información al cuarto de control donde recibe la información de calidad de aire bueno, cuando alguno de los gases esta fuera de los rangos de medida normal el ambiente es malo y por tal motivo enciende el ventilador #4 (Vca #4) y el ventilador #2 (Ve #2) hasta volver a tener una atmosfera con una buena calidad de aire.

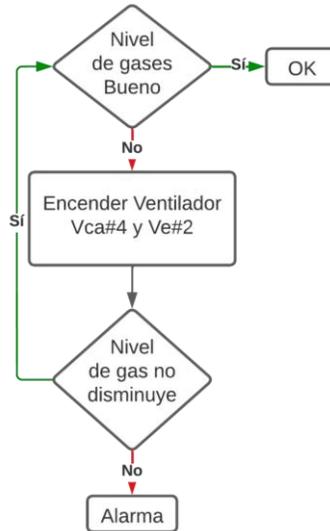


Figura 32. Punto de medida PM#4

Si llegado el caso el sistema de ventilación se mantiene encendido y la atmosfera es mala ya sea por cualquier gas saltara una alerta en el cuarto de control ya que puede ser una falla grave o una gran acumulación de gases al interior de la mina y se necesite la evacuación del personal.

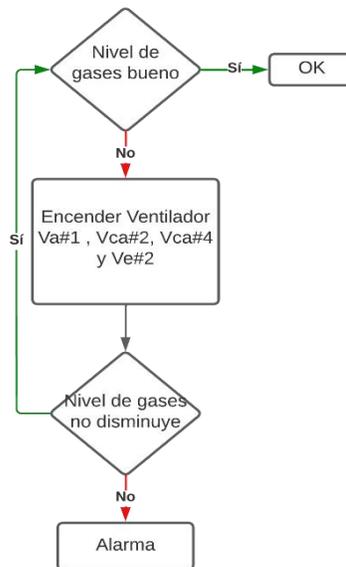


Figura 33. Punto de medida PM#3

Punto de medida #3 (PM#3), en este punto de medida se parte si la calidad del aire es buena o mala, ya que en este punto se encuentra un sensor el cual se mantiene midiendo los niveles de cada

uno de los gases, cuando todos los gases se encuentra en el rango de medida estándar envía información al cuarto de control donde recibe la información de calidad de aire bueno, cuando alguno de los gases esta fuera de los rangos de medida normal el ambiente es malo y por tal motivo enciende el ventilador #1 (Va #1), el ventilador #2 (Vca #2), el ventilador #4 (Vca #4) y el ventilador extractor #2 (Ve #2) hasta volver a tener una atmosfera con una buena calidad de aire, si llegado el caso el sistema de ventilación se mantiene encendido y la atmosfera es mala ya sea por cualquier gas saltara una alerta en el cuarto de control ya que puede ser una falla grave o una gran acumulación de gases al interior de la mina y se necesite la evacuación del personal.

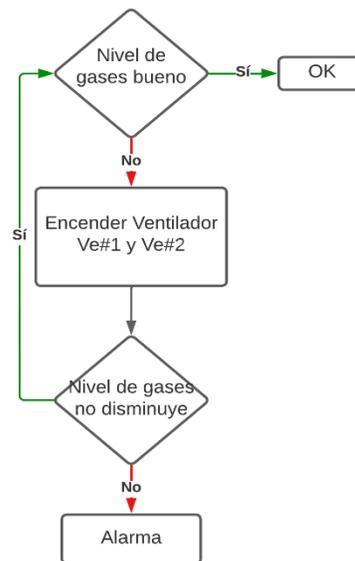


Figura 34. Punto de medida PM#1

Punto de medida #1 (PM#1), en este punto de medida se parte si la calidad del aire es buena o mala, ya que en este punto se encuentra un sensor el cual se mantiene midiendo los niveles de cada uno de los gases, este punto importante ya que la calidad del aire en este punto es la que se inyecta hacia el interior de la mina para contribuir con los demás puntos de ventilación, cuando todos los gases se encuentra en el rango de medida estándar envía información al cuarto de control donde recibe la información de calidad de aire bueno, cuando alguno de los gases esta fuera de los rangos

de medida normal el ambiente es malo y por tal motivo enciende el ventilador extractor #1 (Ve #1), el ventilador extractor #2 (Ve #2), hasta volver a tener una atmosfera con una buena calidad de aire, si llegado el caso el sistema de ventilación se mantiene encendido y la atmosfera es mala ya sea por cualquier gas saltara una alerta en el cuarto de control ya que puede ser una falla grave o una gran acumulación de gases al interior de la mina y se necesite la evacuación del personal.

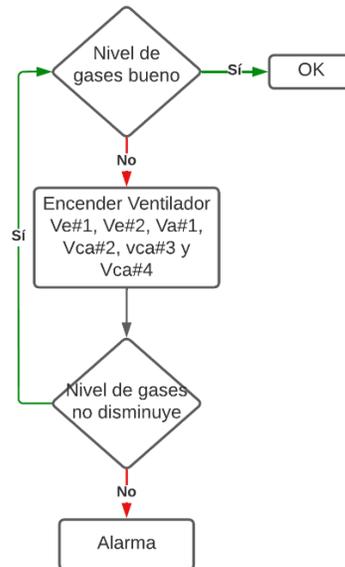


Figura 35. Punto de medida PM#6

Punto de medida #6 (PM#6), en este punto de medida se parte si la calidad del aire es buena o mala, ya que en este punto se encuentra un sensor el cual se mantiene midiendo los niveles de cada uno de los gases, este punto importante ya que la calidad del aire en este punto es el reflejo del correcto funcionamiento de los demás puntos de ventilación, cuando todos los gases se encuentra en el rango de medida estándar envía información al cuarto de control donde recibe la información de calidad de aire bueno (cabe resaltar que este punto de medida por ser la salida de la ventilación, los niveles de gases siempre serán un poco mayor que en los demás puntos, cuando alguno de los gases esta fuera de los rangos de medida normal el ambiente es malo y por tal motivo enciende el ventilador extractor #1 (Ve #1), el ventilador extractor #2 (Ve #2), ventilador #1 (VA #1),

ventilador #2 (VCA #2), ventilador #3 (VCA #3), ventilador #4 (VCA #4) hasta volver a tener una atmosfera con una buena calidad de aire, si llegado el caso el sistema de ventilación se mantiene encendido y la atmosfera es mala ya sea por cualquier gas saltara una alerta en el cuarto de control ya que puede ser una falla grave o una gran acumulación de gases al interior de la mina y se necesite la evacuación del personal.

3.8 Diseño Y Simulación SCADA

En el diseño del SCADA se busca que sea lo más intuitivo y fácil de usar para el operador o usuario, el cual será siempre el encargo de visualizar la información de todos los procesos al interior de la mina, por esta razón el SCADA se busca que sea practico y para ellos se divide en diversas pantallas a las cuales se accede desde los diferentes menús de acceso.

Pantalla de inicio. La pantalla inicio cuenta con la información de la mina, la universidad, además tendrá en la parte superior la lectura de cada una de las fases (f1, f2, f3) de la línea eléctrica principal para que el operario pueda detectar cuando hay fallas en la red y evitar daños en los equipos y también cuenta con unos botones en la parte inferior de la pantalla con los cuales se navega y se accede a los diferentes menús de uso; inicio, electrobombas, sistema de ventilación, gases, setpoint, alarmas, los cuales abren una pantalla para cada proceso.



Figura 36. Pantalla inicio SCADA

En la pantalla de bombas se encuentra representado las tanquillas y las electrobombas, donde se visualiza los niveles de agua que tiene de cada una de las tanquilla ya sea un nivel bajo o un nivel alto como se mencionó anteriormente, además cuenta con las electrobombas donde se puede observar cuando están encendidas (electrobomba en color azul) extrayendo el agua de cada una de las tanquillas, su corriente de funcionamiento y cuando se encuentra apagadas (electrobomba en color gris) o en falla (electrobomba en color naranja) , además en esta pantalla podemos intercambiar para poder observar los diferentes inclinados (inclinado 1-2 y el inclinado 3) y ver en qué estado se encuentran las diversas tanquillas de los inclinados.

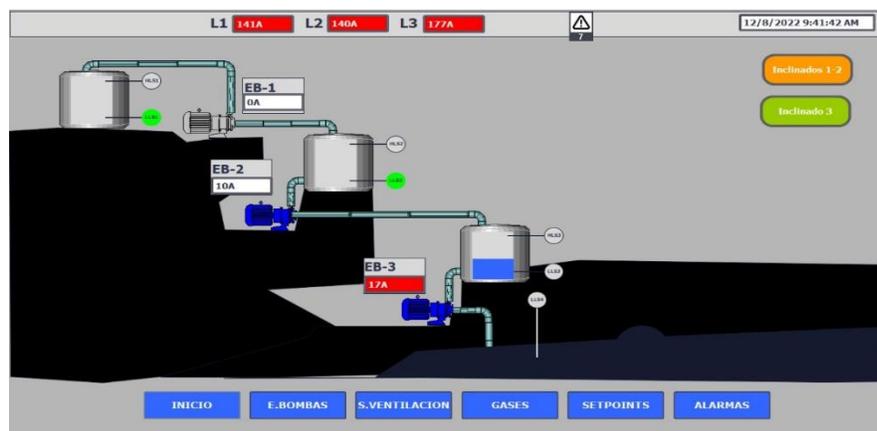


Figura 37. Pantalla de bombas

En la pantalla de ventilación se puede observar los diversos ventiladores y extractores que componen el sistema de ventilación de la mina San Tomas y su respectiva ubicación a lo largo de los diversos túneles de trabajo, en esta pantalla se accede con el botón de *S. Ventilación*, en la cual se observa la corriente de línea de cada uno de los ventiladores para así saber el comportamiento y el correcto funcionamiento de cada uno de ellos, ya que cuando un equipo está funcionando de forma inadecuado o en falla este alertara y se verá reflejado en la corriente, y así reaccionar de forma más oportuna respecto a la avería. También contara con las imágenes interactivas donde nos mostrara el equipo encendido (color azul), equipo apagado (color gris), equipo en falla (color

naranja).

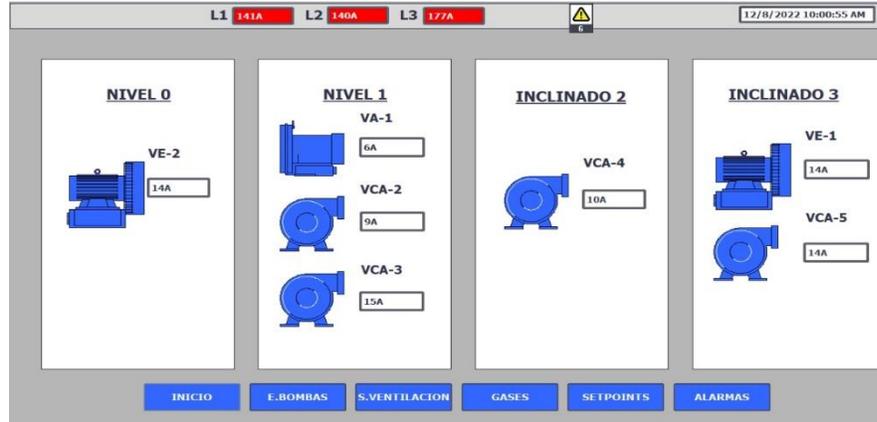


Figura 38. Pantalla de ventiladores

La pantalla de gases se accede desde el botón de GASES en el cual se visualiza los niveles de gases en cada uno de los puntos de medida de gases ubicados a lo largo de la mina, se puede visualizar la medida exacta de cada uno los gases en tiempo real, esto facilita al usuario interpretar fácilmente la información y monitoreo, así cuando un gas este fuera de este rango accione el sistema de ventilación automáticamente y al detectarse un nivel de gas por encima del límite permisible establecido en cada punto de medida, el programa nos presentara una alarma en la pantalla y adicionalmente nos indicara con una alerta de color rojo cual es el punto de medida y cuál es el gas que esta alarmado facilitando así las acciones al personal encargado.

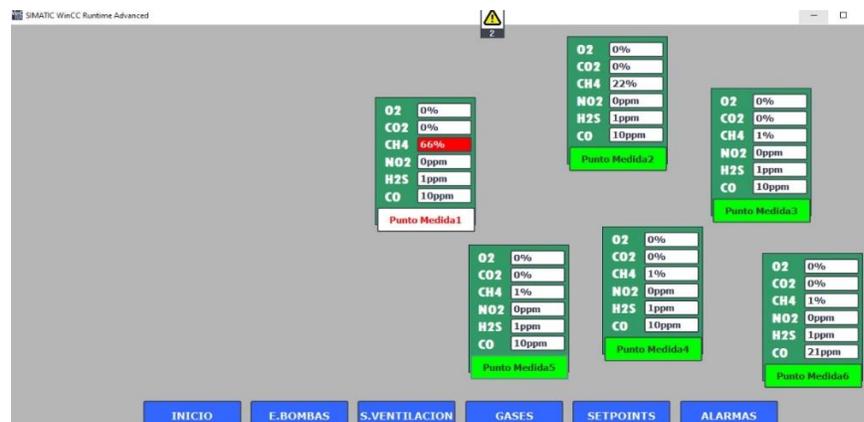


Figura 39. Pantalla de gases

En la siguiente de pantalla se accede desde el botón de SET POINTS los cuales permite fijar de forma más específica los valores de corriente de cada uno de los equipos eléctricos usados en la mina para el sistema de bombeo como son las cinco electrobombas y cada uno de los ventiladores(SP cargas), para que genere una alerta cuando está fuera de los valores normales de uso, estos setpoint se hacen ajustables para llegado el caso se cambian los equipos eléctricos como electrobombas y ventiladores, y sus características eléctricas varíen se puedan ajustar para generar las alertas de trabajo anormal. También podemos hacer lo mismo con los SET POINTS en el sistema de ventilación (SP gases), en el caso de que en algún lugar se desee ajustar los valores límites permisibles de concentración de gases.



Figura 40. Setpoints de corriente



Figura 41. Setpoints de gases

A continuación, se presenta un evento de alarma de bajo nivel en una tanquilla y la electrobomba siga funcionando, este evento es un ejemplo real que se puede presentar cuando en una tanquilla se quede vacía o con bajo nivel de agua y la electrobomba siga funcionando, generando la alarma para un apagado de emergencia y se notifique a la cuadrilla de mantenimiento para su revisión y reparación.

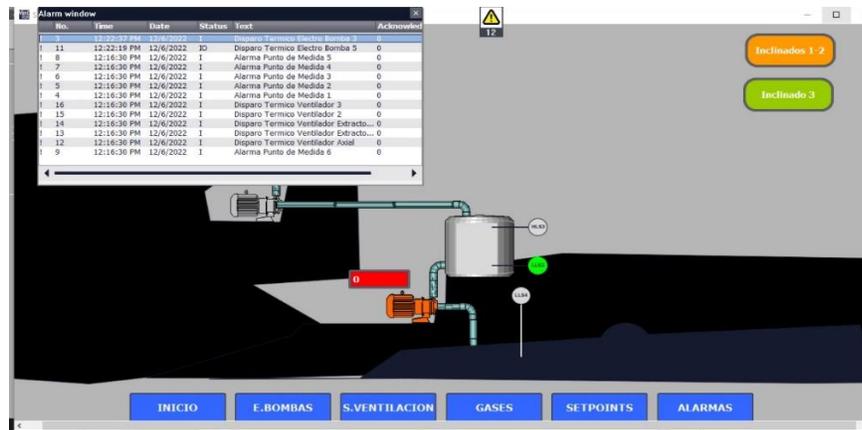


Figura 42. Alarma por nivel bajo

A continuación, en la pantalla de ALARMAS se visualiza y lleva los registros de alarmas que se presentaron en cada uno de los diferentes procesos en la mina San Tomas, esto con el fin de que se tenga una base de datos donde se pueda llevar el registro de las diferentes eventualidades que se presentaron.

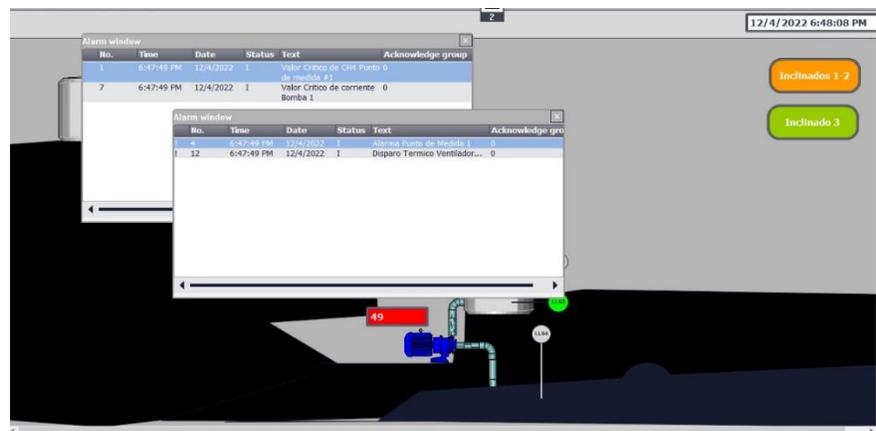


Figura 43. Pantalla de registro de alarmas

Cómo se mencionó en el SCADA se va a medir la corriente promedio de los equipos eléctricos para conocer en tiempo real el funcionamiento de cada uno de ellos, esto se realiza con la intención de conocer el comportamiento y saber si está en falla o no, para así enviar un equipo o cuadrilla para revisar cuando allá una alerta en el SCADA.

Para esta opción se hace una investigación de tipos de sensores de corriente teniendo en cuenta los valores de corriente de los equipos eléctricos que se van a monitorear, siendo el valor de corriente más bajo de 3.23 A del ventilador centrifugo auxiliar #5 (Vca #5) y la corriente más alta de 25.49 A del ventilador axial #1 (Va #1), por esta razón se debe investigar un sensor que trabaje en este rango o una familia de sensores de corriente que puedan medir corriente en este rango y además que cuenten con salida analógica de 4-20 mA para comunicar con el PLC.

Tabla 13. Selección de sensor de corriente

| N° | Nombre del dispositivo | Características | Costos |
|----|-----------------------------------|---|--|
| 1 | Sensor AC DC SZT15-SH- 420E | Sensores con funcionamiento a 24V. Capacidad de medida de 0 a 50 A. Salida analógica de 4-20mA la cual funciona sin problema con el protocolo de lazo de corriente del PLC. Precisión de medida del 10% | \$495000  |
| 2 | Sensor TST016T | Sensores con funcionamiento a 12 y 24V. Capacidad de medida de 10, 20, 50 A dependiendo de la referencia del sensor Salida analógica de 4-20mA la cual funciona sin problema con el protocolo de lazo de corriente del PLC. Precisión de medida del 1% | 21,5 a 29 euros c/u  |

Los criterios a evaluar como ya se mencionó anteriormente son sensores que estén en la capacidad de medida en los valores de corriente mencionados, contar con salida análoga para el lazo de corriente de 4-20 mA y además contar con una precisión alta para evitar errores en la medida ya que es un trabajo donde hay vidas en riesgo.

Tabla 14. Matriz de pugh sensor de corriente

| CRITERIO | PESO | SENSOR | |
|---------------------------|------|--------|---|
| | | 1 | 2 |
| Costo (\$) | 1 | 1 | 1 |
| Protocolo de comunicación | 2 | 1 | 1 |
| Precisión | 2 | 0 | 1 |
| suma pondera | | 3 | 5 |

Con la anterior matriz de pugh el sensor más adecuado es el sensor número 2, siendo el sensor TST016T el más adecuado ya que cuenta con una precisión del 1% en comparación con el sensor número 1 que cuenta con una precisión del 10%.

4. Análisis De La Viabilidad Del Proyecto

4.1 Simulación Y Validación Del Sistema

Se realiza la simulación del SCADA con potenciómetros para emular las señales de cada uno de los sensores con los que cuenta el sistema, esto se realiza para visualizar el comportamiento del sistema como varían las variables y su representación en pantalla del SCADA, se simula la opción de los setpoint para ajustar los parámetros para cuando estos estén fuera de los valores normales indiquen una alarma o alerta en el SCADA.

Se realizaron diversas simulaciones de posibles casos que se pueden presentar en el desarrollo de la actividad minera en la mina San Tomas, esto se realizó con el fin de validar el comportamiento y la reacción del SCADA frente a cada una de ellas. Como pudimos observar (video) el SCADA presento una reacción adecuada o espera frente a cada una de los posibles casos que se presentan, como puede ser una tanquilla que se quede en vacío y la electrobomba siga funcionando, como ante un alto nivel de gas el sistema actúa y enciende el sistema de ventilación adecuado para diluir este gas y sacarlo de la mina.

Estas reacciones son las esperadas y su visualización en la pantalla brinda información adecuada para el operario frente a estos casos teniendo control y conocimiento en tiempo real de todo el proceso.

4.2 Costos Y Acceso A Los Equipos

Para realización a futuro del proyecto de supervisión y control de gases y bombeo de la mina San Tomas se realiza un cuadro para estimar los costos de los equipos al valor de realización del proyecto de grado, y la disponibilidad de acceso a los equipos usados para el proyecto.

Al ser un proyecto enfocado en la minería y alta tecnología los equipos requeridos son de procedencia del exterior y el costo es en dólares o euros en su mayoría, ya que los equipos tienen

que ser importados especialmente los sensores para medir los gases.

Como primer equipo y el principal es el costo del PLC ya que este equipo es el encargado de recibir las señales de medida e interpretarlas y a su vez procesar la información para mostrar en el SCADA y toma de decisiones automáticamente. El costo del PLC en el mercado colombiano es de un valor promedio de \$3'300.000.

Segundo son los sensores de gases usados en los diferentes puntos de medida (PM) ubicados a lo largo de la mina para realizar el monitoreo de los niveles de gases (6 sensores por punto de medida), y son seis (6) puntos de medida ubicados en la medida siendo 36 sensores de gases los necesarios para la implementación.

Tabla 15. Relación de costos para los sensores de gases

| EQUIPO | COSTO | CANTIDAD | TOTAL |
|---------------|--------------|-----------------|--------------------|
| Sensor de CO2 | 1200 euros | 6 | 7200 euros |
| Sensor de CH4 | 1200 euros | 6 | 7200 euros |
| Sensor de H2S | 1200 euros | 6 | 7200 euros |
| Sensor de CO | 1200 euros | 6 | 7200 euros |
| Sensor de O2 | 1200 euros | 6 | 7200 euros |
| Sensor de NO2 | 1200 euros | 6 | 7200 euros |
| TOTAL | | | 43200 euros |

El costo total de los sensores de gases es de € 43.200 y haciendo la conversión al día de hoy de euros a peso colombiano, da un total de \$218'041.216 pesos. Tercero los sensores de corriente usados en los diferentes equipos eléctricos ubicados a lo largo de la mina los cuales son monitoreados, a este grupo pertenece cada uno de los ventiladores que sirven para hacer circular el aire a lo largo de la mina y las electrobombas usadas para sacar toda la acumulación de agua al interior de la mina.

Tabla 16. Costo sensores de corriente

| EQUIPO | COSTO | CANTIDAD | TOTAL |
|-----------------------------|--------------|-----------------|--------------|
| Sensor de corriente de 10 A | 21.5 euros | 6 | 129 euros |
| Sensor de corriente de 15A | 24.3 euros | 1 | 24.3 euros |
| Sensor de corriente de 20A | 27 euros | 1 | 27 euros |
| Sensor de corriente de 50A | 29 euros | 2 | 58 euros |
| TOTAL | | | 238.3 euros |

El costo total de los sensores de gases es de € 238.3 y haciendo la conversión al día de hoy de euros a peso colombiano, da un total de \$1'202.759 pesos. Y como cuarto los sensores de nivel que se van a usar en cada una de las tanquillas de agua para conocer el nivel de cada una, y saber cuándo encender o apagar las electrobombas. El costo total de los sensores para las 6 tanquillas de la mina es de \$889.200 pesos.

Tabla 17. Costo sensores de nivel

| EQUIPO | COSTO | CANTIDAD | TOTAL |
|-------------------------------|--------------|-----------------|-----------------|
| Sensor de nivel tipo flotador | \$148.200 | 6 | \$889.200 pesos |
| TOTAL | | | \$889.200 pesos |

Y el valor final es el presupuesto que se estima por el diseño y si respectiva programación del SCADA validando su funcionalidad en un costo final de \$18'000.000. Ahora bien, la relación de costos finales, se estima en la siguiente tabla:

Tabla 18. Costos totales

| EQUIPOS | COSTO EN PESOS (\$) |
|-----------------------|----------------------------|
| PLC | \$3'300.000 |
| Sensores de gases | \$218'041.216 |
| Sensores de corriente | \$1'202.759 |

Continuación tabla 18. Costos totales

| EQUIPOS | COSTO EN PESOS (\$) |
|---------------------------------|----------------------------|
| Sensores de nivel | \$889.200 |
| Diseño y programación del Scada | \$18'000.000 |
| TOTAL | \$241'433.175 |

El costo total para la compra de equipos requeridos para la implementación del proyecto es \$241'433.175 pesos, esto es requerido para adquirir el PLC, los sensores de medida de gases, de corriente así como los sensores de nivel de agua para las tanquillas, la programación del scada, los equipos de control de los diferentes motores eléctricos (ventiladores y electrobombas) no se tuvieron en consideración ya que la mina cuenta con un sistema de arranque de cada uno de ellos, solo sería necesario de adaptar la señal que se enviaría desde el centro de control a cada uno de los equipos.

6. Conclusiones

El sistema SCADA diseñado para el monitoreo, control y registro de gases y sistema de bombeo de agua en la mina san tomas, tiene gran potencial debido a su fácil interacción con el personal a cargo y su vez tendrá beneficios económicos para la empresa ya que reducirá personal para estas tareas.

El sistema actual de bombeo lo hace un poco anticuado e ineficiente ya que cada sistema de bombeo en los inclinados está en serie y sin tanquillas teniendo un mayor gasto energético y económico, por esta razón es mejor el sistema de tanquillas.

Actualmente no se cuenta con un sistema de medida de corriente en los equipos electromecánicos, todo se hace de forma manual y esto hace que no se puedan detectar fallas a tiempo y pueda ocasionar daños importantes a los equipos.

El monitoreo de gases actualmente se hace demorado ya que toma el tiempo en que la persona entra y recorre todos los puntos establecidos de medida a lo largo de la mina, haciéndolo peligroso y muy largo. Se observo a lo largo del desarrollo del proyecto que las medidas de gases solo se hacen a ciertas horas del día y no constantemente haciendo que pueda haber emergencias por acumulación de gases sin que se perciban entre este lapso de tiempo.

Con el desarrollo del SCADA se tiene un monitoreo de todas las variables en tiempo real, para cuando suceda una variación esta la detecta rápidamente como se validó y reacciona ante esta variación correctamente evitando ambientes peligrosos.

Se observo que los cambios en los niveles de gases no varían rápidamente al interior de la mina a excepción cuando se realizan nuevas excavaciones o se encuentran bolsas de metano, las cuales alteran rápidamente atmosfera de la mina volviendo inestable y explosiva, estos cambios son detectados rápidamente por el Scada y provocando una alerta para reaccionar frente a la situación.

7. Recomendaciones

Se recomienda hacer una revisión del sistema de ventilación para que este cumpla con los estándares y los volúmenes requeridos en el estudio ya que actualmente la mina cuenta con un sistema limitado en la ventilación.

Se recomienda la implementación de un sistema de tanquillas para el sistema de bombeo en cada uno de los inclinados, para mejorar la eficiencia del mismo, evitando inconvenientes cuando alguna de las bombas falle, mejorando las condiciones para la producción.

Aunque la implementación del sistema tiene un costo alto principalmente en la adquisición de los sensores de gases se recomienda hacer ya que se obtendrá un mejor ambiente de trabajo puesto que se previenen accidentes y se cuidan las vidas humanas que no tienen precio, además de mejorar la productividad de la empresa.

Se recomienda como trabajo futuro el diseño del sistema de cableado estructurado a lo largo de la mina para realizar las comunicaciones de los diferentes equipos para el SCADA.

Bibliografía

Agencia Nacional Minera. (2020). Decálogo de Ventilación en labores mineras en Colombia.

Alvarado, J. (2014). Sistema de supervisión y control para gases de la mina de carbón GAIA. Universidad Santo Tomas.

Diseño de un sistema SCADA a través de una red wireless para monitoreo y control de un sistema de paneles de 4 ventiladores principales de 10000 CFM de la minera BATEAS. Lima.

Barzola, R. (2019). Implementación de un sistema de bombeo. Huancayo: Universidad Nacional del centro del Perú.

Bomberos, H. d. (17 de 01 de 2011). La hermandad de bomberos. Obtenido de La hermandad de bomberos: <http://hermandaddebomberos.ning.com/profiles/blogs/sistemas-portatiles-de>

Carreño, I. C. (2010). Sistema de control y monitoreo automatizado para gases en minas de carbón. Revista de Investigación y Desarrollo e Innovación.

Celeminero. (2019). Celeminero, Especialista en salud ocupacional. Obtenido de <https://www.youtube.com/@celemin75>

Industrial Scientific. (2019). Obtenido de Industrial Scientific: <https://www.indsci.com/es/capacitacion/educacion-general-sobre-gases/electrochemical-sensors/>

Ingeoexpert. (18 de enero de 2019). Ingeo Expert. Obtenido de <https://ingeoexpert.com/2019/01/18/la-mineria-subterranea-en-que-consiste/>

Laminas y aceros. (12 de enero de 2019). Laminas y aceros. Obtenido de <https://blog.laminasyaceros.com/blog/tipos-de-extractores-de-aire>

Marín, A. (2013). Red de sensores inalámbricos para el monitoreo de alertas tempranas en minas subterráneas: una solución a la problemática de atmósferas explosivas en la minería de carbón en Colombia. Ingeniería y Desarrollo.

Minas, M. d. (2015). Decreto 1886 de 2015.

Minera, D. d. (2008). Guía metodológica de seguridad para proyectos de ventilación de minas. Santiago de Chile.

Minera, S. (6 de abril de 2016). Revista seguridad minera. Obtenido de Seguridad minera Peru: <https://www.revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/7-gases-presentes-minas-subterranas/>

Minería, A. N. (2020). Estadísticas de Emergencias y Fatalidad Minera al 19-11-2020.

Minería, A. N. (2020). Estudio de una explosión de Metano. IV Encuentro Nacional de Socorroros Mineros.

Ministerio de Minas y Energía. (2015). Decreto 1886 de 2015. Bogotá.

Ministerio de Trabajo. (2020). Resolución 0491 del 2020. Bogotá: Ministerio del Trabajo.

Ministerio de Minas y Energía. (2015). Cartilla de minería. (págs. 1-40). Bogotá: MINMINAS.

Moreno, I. R. (2021). Actualización al programa de trabajos y obras (PTO). Cúcuta.

Positiva. (2017). Guía de seguridad para ventilación de minas subterráneas. Bogotá: Positiva.

SICK. (24 de 02 de 2017). SICK sensores inteligentes. Obtenido de SICK sensores inteligentes: https://cdn.sick.com/media/docs/1/51/051/Industry_guide_Mining_Industry_es_IM0071051.PDF

Smith, M. (09 de Mar de 2020). DeweSoft . Obtenido de <https://dewesoft.com/es/daq/que-es-un-sensor>

Soler Palau. (9 de agosto de 2021). S&P. Obtenido de Soler Palau: <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/diferencias-entre-extractor-de-aire-industrial-y-un-ventilador/>

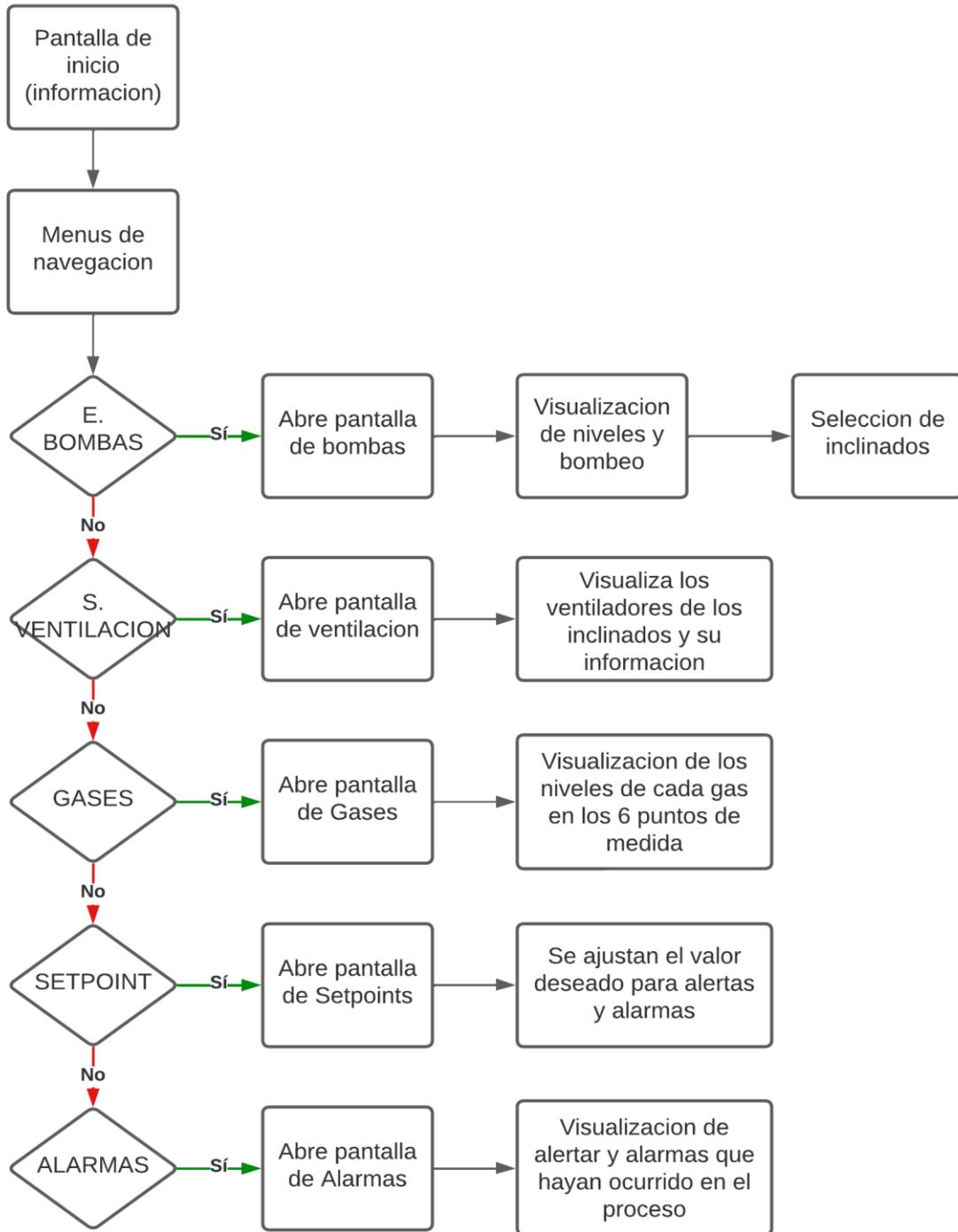
VentaGeneradores. (20 de Noviembre de 2015). Ventas Generador.Net. Obtenido de <https://www.ventageneradores.net/blog/ventajas-de-las-electrobombas/>

Wired, T. (Febrero de 2017). Techno wired. Obtenido de <http://www.technowired.net/wp-content/uploads/2017/02/Sistema-MCA1000-Digital-DMR.pdf>

Yuly Tatiana Galvis Ocampo, N. E. (2021). Emergencias y fatalidades mineras subterráneas en Colombia. Boletín de ciencias de la tierra.

Anexos

Anexo 1. Diagrama de flujo de navegación en el SCADA



Anexo 2. Certificación de calibración de medidor de gases

Dräger Colombia S.A. Workshop Service
Pta. 1.5 Via Sibona - Poso, Bogotá ROM: 10.11 y 12, Terminales Logísticas De Colombia, C.A.S.
Cundinamarca, TEL: 7945000

Dräger

**CERTIFICADO DE MANTENIMIENTO, VERIFICACIÓN
Y AJUSTE**

Número: VNZ223-22
Lugar: Bogotá, D.C.
Fecha: 22 de agosto de 2022.

Dräger Colombia S.A. Certifica haber revisado y ajustado el equipo que se detalla a continuación:

EQUIPO: Detector portátil de 6 gases (CO₂, CH₄, O₂, NO₂, H₂S, CO).
FABRICANTE: Dräger.
MODELO: X-am 5500.
REFERENCIA: 8321373.
SERIE: ARPL-0055.
PROPIETARIO: VERTIENTEZ.

Este documento se expide para certificar que el equipo ha superado satisfactoriamente las pruebas efectuadas según el protocolo de comprobación del fabricante. Los resultados se refieren al momento y las condiciones en que se efectuaron las mediciones. El equipo queda en perfecto estado de funcionamiento.

PRÓXIMO SERVICIO: 22 de febrero de 2023.

Se adjunta la correspondiente carta de revisión y pruebas.

REALIZADO POR:


JAVIER SANTIAGO HERNÁNDEZ MÉNDEZ
Service Technician Safety Division
Dräger Safety Colombia

Nombre: _____
Fecha: _____

DRÄGER. TECNOLOGÍA PARA LA VIDA.

Anexo 3. Formato de registro de gases al interior de la mina

| CENTRO DE TRABAJO | | SISTEMA DE GESTION DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO - SG-SST | | | | | | | | | | | | CODIGO: MIN-FOR-SGSST. | | | | | | | | | | |
|---|---------|---|------|------------|------------|---------------------|----|------------|---------|-------------------|------|------------|------------|------------------------|-----|----|---------|-----|----|-----|------------|----|--|--|
| BOCAMINA | | MINERIA SUBTERRANEA RODRIGO QUILAGUY FORMATO DE MEDICION DE GASES | | | | | | | | | | | | Versión : 3.0 | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | FECHA_01-ENE-2022 | | | | | | | | | | |
| Mina San Tomas | | Inclinado 1-2-3 Nivel 0 | | | | | | | | | | | | EQUIPO | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | FECHA CALIBRACION | | | | | | | | | | |
| FRETE DE TRABAJO | HORA | | | | FECHA | | | | HORA | | | | FECHA | | | | HORA | | | | FECHA | | | |
| | 5:00 am | | | | 26-07-2022 | | | | 9:00 am | | | | 26-07-2022 | | | | 2:00 pm | | | | 26-07-2022 | | | |
| | O2 | CH4 | CO2 | CO | H2S | NO2 | O2 | CH4 | CO2 | CO | H2S | NO2 | O2 | CH4 | CO2 | CO | H2S | NO2 | O2 | CH4 | CO2 | CO | | |
| Medición 1 | | | | Medición 2 | | | | Medición 3 | | | | Medición 4 | | | | | | | | | | | | |
| Cruzada | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| Nivel 0 Manto 30 | 20,4 | 0 | 0,38 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20,3 | 0 | 0,39 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| Tambor 2 manto 30 | 20,1 | 0 | 0,36 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20,2 | 0 | 0,35 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| Tambor 3 manto 30 | 20,3 | 0 | 0,40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20,3 | 0 | 0,42 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| Nivel 1 manto 5 | 20,2 | 0 | 0,48 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20,3 | 0 | 0,45 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| Tambor 2 manto 5 | 19,9 | 0 | 0,60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 19,9 | 0 | 0,60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| Tambor 3 manto 5 | 19,8 | 0 | 0,62 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 19,8 | 0 | 0,61 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| Tambor 4 manto 5 | 20,0 | 0 | 0,53 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20,0 | 0 | 0,50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| Tambor 3 manto 7 | 19,7 | 0 | 0,65 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 19,7 | 0 | 0,62 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| Tambor 4 manto 7 | 19,8 | 0 | 0,62 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 19,8 | 0 | 0,60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| Nivel 1 manto 10 | 20,4 | 0 | 0,30 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20,4 | 0 | 0,32 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| Tambor 2 manto 10 | 20,4 | 0 | 0,30 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20,3 | 0 | 0,35 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| Tambor 8 manto 30 | 20,3 | 0 | 0,36 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20,3 | 0 | 0,37 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| Tambor 9 manto 30 | 20,3 | 0 | 0,37 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20,3 | 0 | 0,37 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| Tambor 10 manto 30 | 20,4 | 0 | 0,35 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20,4 | 0 | 0,32 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| Firma de quien realiza la medicion | | RESPONSABLE | | | | RESPONSABLE | | | | RESPONSABLE | | | | RESPONSABLE | | | | | | | | | | |
| Yazmin Adriana Cala | | Yazmin Adriana Cala | | | | Yazmin Adriana Cala | | | | Yazmin Adriana C- | | | | | | | | | | | | | | |
| Escribir comentarios acerca de las condiciones de la mina o de los equipos que conforman el circuito de ventilación | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBSERVACIONES | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Medición 1 | | 1 Atmosfera En Buenas Condiciones para Trabajar | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Medición 2 | | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Medición 3 | | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Medición 4 | | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Nombre | | Yazmin Adriana C. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| C.C | | 1090577290 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Firma Responsable de la medicion | | [Firma] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Nombre | | Melquisidea Vargas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| C.C | | 1091806433 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Firma | | [Firma] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Nombre | | Jennifer Gomez | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| C.C | | 1193598 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Firma | | [Firma] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cargo | | Revisor Depto SST | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Anexo 4. Socialización del proyecto

Para la socialización del proyecto se decidió realizar una exposición de todo el trabajo realizado en la clase de microcontroladores en presencia del ingeniero Johnny Omar Medina Duran el día 06 de diciembre de 2022, donde se expuso el desarrollo del proyecto partiendo desde la problemática hasta la solución planteada para atacar dicha problemática presentada en la mina San Tomas.



Figura 1. Socialización del proyecto

| UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER | | Código | |
|--|----------------------------------|---------|----------------------|
| FIRMAS SOCIALIZACION | | Página | 2/1 |
| N° | NOMBRE Y APELLIDO | CODIGO | CARRERA |
| 1 | Vigo Andrés Córdoba Rojas | 1091124 | Ing. Electromecánica |
| 2 | Tanny Yorgely Carrascal Bermúdez | 1091567 | Ing. Electromecánica |
| 3 | Harold Esteren Valencia Hórez | 1091437 | Ing. Electromecánica |
| 4 | Camila Guadalupe Campos Amaya | 1091382 | Ing. Electromecánica |
| 5 | Ariana Frany Seabra Rodríguez | 1091118 | Ing. Electromecánica |
| 6 | Pablo Andrés Nieto Polon | 1091070 | Ing. Electromecánica |
| 7 | Pablo Ponce Velázquez | 1091239 | Ing. Electromecánica |
| 8 | Luis Omar Castañeda S. | 1091445 | Ing. Electromecánica |
| 9 | Pedro Fabián Solano C. | 1091728 | Ing. Electromecánica |
| 10 | Diego Andrés Bernal Uribe | 1091284 | Ing. Electromecánica |
| | | | |

Figura 2. Firmas socialización del proyecto