



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
SEDE MORONA SANTIAGO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA MINAS

SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN EN LA
EMPRESA GRUMINTOR S.A

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN MINAS

AUTOR:

GEORGE MANUEL ORTEGA QUEZADA

Macas – Ecuador

2023



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
SEDE MORONA SANTIAGO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA MINAS

SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN EN LA
EMPRESA GRUMINTOR S.A

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN MINAS

AUTOR: GEORGE MANUEL ORTEGA QUEZADA

DIRECTOR: Ing. CHRISTIAN ADRIÁN ORDÓÑEZ GUAYCHA MSc.

Macas – Ecuador

2023

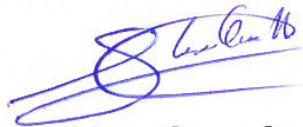
© 2023, George Manuel Ortega Quezada

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, George Manuel Ortega Quezada, declaro que el presente Trabajo de Titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Macas, 25 de mayo de 2023

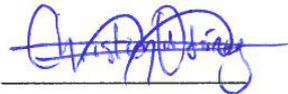


George Manuel Ortega Quezada

190055255-3

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
SEDE MORONA SANTIAGO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA MINAS

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto Técnico, **SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN EN LA EMPRESA GRUMINTOR S.A**, realizado por el señor, **GEORGE MANUEL ORTEGA QUEZADA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos y legales; en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Fabián Ricardo Ojeda Pardo MSc. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023 – 05 – 25
Ing. Christian Adrián Ordoñez Guaycha MSc. DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023 – 05 – 25
Ing. Eduardo Santiago Cazar Rivera MSc. ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023 – 05 – 25

DEDICATORIA

A mis padres por haberme forjado como persona que soy actualmente, formado con reglar, valores, ciertas libertades y tropiezos a la vez , pero al final de cuentas siempre me supieron motivar para alcanzar muchos de mis logros de mi vida que se los debo a ustedes entre los que incluyo con este. A mi hija porque ha sido mi mayor motivación para no rendirme en mis últimos pasos académicos y poder llegar a ser un ejemplo para ella.

George

AGRADECIMIENTO

Agradezco primero a Dios quien me ha guiado y dado la fortaleza, salud y vida para poder culminar este arduo camino. A mis padres por el esfuerzo económico fundamental para conseguir este logro, a mi familia y enamorada que día a día me supieron dar apoyo moral en todo este tiempo de preparación académica, por último, a GRUMINTOR S.A y a las personas que me apoyaron de una u otra manera a la realización de este trabajo.

George

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS	xv
RESUMEN	xvi
ABSTRACT	xvii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1.	DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1.	Antecedentes.....	2
1.2.	Planteamiento del problema.....	2
1.3.	Justificación	3
1.4.	Generalidades	4
1.4.1.	<i>Ubicación</i>	4
1.4.2.	<i>Clima</i>	5
1.4.3.	<i>Acceso</i>	6
1.5.	Marco geológico.....	6
1.5.1.	<i>Geología local</i>	6
1.5.2.	<i>Geología regional</i>	7
1.5.3.	<i>Mineralización</i>	8
1.6.	Objetivos	8
1.6.1.	<i>General</i>	8
1.6.2.	<i>Específicos</i>	8

CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO	9
2.1.	Antecedentes de investigación.....	9
2.2.	Referencias teóricas	10
2.2.1.	<i>Normativa legal de Ecuador para ventilación de minería subterránea</i>	10
2.2.2.	<i>Definición y componentes del aire</i>	11
2.2.3.	<i>Definición y clasificación del aire de mina</i>	12

2.2.4.	Corrientes de aire	12
2.2.5.	Tipos de movimiento de aire	12
2.2.6.	Ventilación	12
2.2.6.1.	Ventilación de mina	13
2.2.7.	Tipos de ventilación	13
2.2.7.1.	Ventilación natural o principal	13
2.2.7.2.	Ventilación mecánica o secundaria	14
2.2.8.	Sistemas de ventilación	14
2.2.8.1.	Sistema de ventilación impelente	14
2.2.8.2.	Sistema de ventilación aspirante	15
2.2.8.3.	Sistema de ventilación combinada o mixto	15
2.2.9.	Condiciones termohigrométricas	16
2.2.9.1.	Temperatura seca (ts)	16
2.2.9.2.	Temperatura húmeda (th)	17
2.2.9.3.	Temperatura efectiva	17
2.2.9.4.	Humedad absoluta	17
2.2.9.5.	Humedad relativa	17
2.2.9.6.	Grado de saturación	17
2.2.10.	Parámetros de ventilación	18
2.2.10.1.	Caudal	18
2.2.11.	Requerimientos de aire	18
2.2.11.1.	Caudal requerido por el número de personas	19
2.2.11.2.	Caudal requerido por polvo en suspensión	19
2.2.11.3.	Consumo requerido por la producción	20
2.2.11.4.	Requerimiento de aire por consumo de explosivos	20
2.2.11.5.	Caudal requerido por temperatura en labores de trabajo (QTe)	21
2.2.12.	Parámetros físicos de ventilación	21
2.2.12.1.	Área de conducto	21
2.2.12.2.	Perímetro del conducto	22
2.2.12.3.	Factor de fricción	22
2.2.12.4.	Factor de choque	23
2.2.12.5.	Longitud equivalente	24
2.2.12.6.	Presiones en una mina	24
2.2.13.	Leyes de Kirchoff	25
2.2.14.	Software Ventsim	26
2.2.14.1.	VENTSIM™ DISEÑO (Estándar)	26

2.2.14.2.	<i>VENTSIM™ DISEÑO PRÉMIUM</i>	27
2.2.15.	<i>Software VUMA-network</i>	27

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	29
3.1.	Tipo de investigación	29
3.2.	Población y muestra	29
3.2.1.	<i>Población</i>	29
3.2.2.	<i>Muestra</i>	29
3.3.	Técnicas e instrumentos para la recolección de datos	29
3.3.1.	<i>Instrumentos</i>	29
3.3.2.	<i>Técnicas</i>	31
3.3.3.	<i>Procedimiento de recolección de datos</i>	31
3.3.3.1.	<i>Compilación de información y reconocimientos del sistema de ventilación.</i>	31
3.3.3.2.	<i>Levantamiento topográfico subterráneo de la mina y sus componentes</i>	31
3.3.3.3.	<i>Posicionamiento de estaciones</i>	32
3.3.3.4.	<i>Dimensionamiento de secciones de galerías</i>	32
3.3.3.5.	<i>Mediciones termohigrométricas</i>	32
3.3.3.6.	<i>Medición de la velocidad de corrientes de aire</i>	33
3.3.3.7.	<i>Cuantificación de los gases presentes</i>	33
3.3.3.8.	<i>Tratamiento de datos recopilados</i>	33
3.3.3.9.	<i>Importación de datos a software de ventilación, modelamiento y simulación</i>	34

CAPÍTULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	35
4.1.	Caracterización actual del sistema de ventilación	35
4.2.	Evaluación del sistema actual de ventilación	37
4.3.	Levantamiento de parámetros de ventilación	38
4.4.	Aforo de caudales (Ingreso y Salidas)	40
4.5.	Análisis de velocidades por estación	41
4.6.	Análisis de temperatura	43
4.7.	Análisis de humedad	44
4.8.	Ventiladores de la unidad minera	45
4.9.	Cálculos de requerimientos de aire	45

4.9.1.	<i>Requerimientos por el número de trabajadores (QTr)</i>	45
4.9.2.	<i>Caudal requerido por polvo en suspensión (Qp)</i>	46
4.9.3.	<i>Caudal requerido por producción (QPr)</i>	46
4.9.4.	<i>Requerimiento de aire por consumo de explosivo (QEx)</i>	46
4.9.5.	<i>Caudal requerido por temperatura (QTe)</i>	47
4.9.6.	<i>Requerimiento por fugas (QFu)</i>	47
4.9.7.	<i>Requerimiento total de aire (QTo)</i>	48
4.9.8.	<i>Cobertura actual del sistema de ventilación</i>	48
4.10.	Cálculo del factor de fricción	48
4.11.	Cálculo de la densidad de aire	49
4.12.	Modelamiento actual del sistema de ventilación	50
4.12.1.	<i>Tratamiento de información topográfica previo a simulación</i>	50
4.12.2.	<i>Simulación en software Ventsim</i>	51
4.12.2.1.	<i>Configuraciones físicas y ambientales</i>	51
4.12.2.2.	<i>Simulación actual del sistema ventilación natural</i>	51
4.12.2.3.	<i>Comparativa de caudales de salida para ventilación actual según datos de estaciones y simulación en VentSim</i>	53
4.12.2.4.	<i>Caudal total de salida con datos de estaciones</i>	54
4.12.2.5.	<i>Caudal total con simulación natural Ventsim</i>	55
4.12.2.6.	<i>Comparativa de velocidades según la información de estaciones y la simulación en Ventsim</i>	56
4.12.2.7.	<i>Simulación del sistema actual de ventilación con sistema secundario aspirante</i>	58
4.12.2.8.	<i>Simulación del sistema de ventilación adecuado para los requerimientos</i>	60
4.12.2.9.	<i>Caudal total de salida alternativa</i>	62
4.12.2.10.	<i>Comparativa de caudales actuales con alternativa</i>	63
4.12.2.11.	<i>Ventilación en la línea de exploración con la alternativa</i>	63
4.12.2.12.	<i>Velocidades de la línea principal con alternativa</i>	64
4.12.3.	<i>Simulación en software Vuma</i>	65
4.12.3.1.	<i>Simulación actual del sistema de ventilación</i>	65
4.12.3.2.	<i>Caudal total de salida</i>	65
4.12.3.3.	<i>Comparación de caudal de entrada y salida entre software Ventsim y Vuma</i>	68
4.12.3.4.	<i>Evaluación de la línea de velocidades entre Ventsim y Vuma</i>	68
4.12.3.5.	<i>Simulación del sistema actual de ventilación con sistema de ventilación aspirante</i>	69

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	72
5.1.	Conclusiones	72
5.2.	Recomendaciones	74

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Ubicación geográfica de la concesión minera PINGLIO 1	4
Tabla 1-2:	Aire requerido por persona	10
Tabla 2-2:	Compuestos del aire	11
Tabla 3-2:	Velocidad mínima de acuerdo con la temperatura	21
Tabla 1-3:	Instrumentos para recopilación de datos	30
Tabla 1-4:	Parámetros de operación.....	38
Tabla 2-4:	Parámetros ambientales	39
Tabla 3-4:	Caudal total de ingreso	40
Tabla 4-4:	Caudal total de salida.....	40
Tabla 5-4:	Balance de caudal de ingreso y salida	41
Tabla 6-4:	Estaciones con las velocidades de aire	42
Tabla 7-4:	Ventiladores empleados para ventilación en zonas de explotación exploración	45
Tabla 8-4:	Requerimientos de aire por persona	46
Tabla 9-4:	Requerimiento de caudal de aire por fugas	47
Tabla 10-4:	Balance y cobertura de aire	48
Tabla 11-4:	Cálculo de factor de fricción y pérdida de presión estática	49
Tabla 12-4:	Caudales de salida natural según datos de estaciones	52
Tabla 13-4:	Caudales de salida natural en Ventsim	53
Tabla 14-4:	Caudal total de salida según datos de estaciones.....	54
Tabla 15-4:	Caudal total según simulación natural Ventsim	55
Tabla 16-4:	Caudales de entrada y salida en software Vuma	67

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-1:	Ilustración de ubicación de la mina y polígono de concesión.....	5
Ilustración 2-1:	Acceso a GRUMINTOR S.A.....	6
Ilustración 1-2:	Esquema de ventilación impelente Ilustración.....	15
Ilustración 2-2:	Sistema de ventilación aspirante.....	15
Ilustración 3-2:	Sistema de ventilación combinado.....	16
Ilustración 4-2:	Tipo de curva para el factor de choque	23
Ilustración 5-2:	Relación del radio y ancho de curva	23
Ilustración 6-2:	Ejemplo de una red simple en unidades del sistema internacional	26
Ilustración 1-3:	Valores de K para tipos de secciones.....	32
Ilustración 2-3:	Esquema del perfil de puntos para obtención de velocidades	33
Ilustración 3-3:	Flujograma para del procedimiento de simulación	34
Ilustración 1-4:	Mapa de la mina GRUMINTOR 3.....	36
Ilustración 2-4:	Mapa de identificación del sistema de ventilación secundario tipo aspirante	38
Ilustración 3-4:	Relación velocidad de aire actual con la velocidad adecuada Ilustración ..	43
Ilustración 4-4:	Temperatura seca y temperatura húmeda	44
Ilustración 5-4:	Humedad en estaciones de control.....	44
Ilustración 6-4:	Líneas ejes del sistema de ventilación	50
Ilustración 7-4:	Configuraciones físicas y ambientales.....	51
Ilustración 8-4:	Caudales de ingreso	52
Ilustración 9-4:	Caudales de salida.....	53
Ilustración 10-4:	Caudales de ventilación natural según datos in situ y simulación Ventsim	54
Ilustración 11-4:	Caudales de salida por estaciones de control y en simulación.....	55
Ilustración 12-4:	Caudales de salida en Chimeneas y Galería 300.....	56
Ilustración 13-4:	Caudal de salida CRUCERO 76	56
Ilustración 14-4:	Líneas de velocidad con información in situ e información de simulación	57
Ilustración 15-4:	Caudal para LÍNIA DE EXPLORACIÓN	57
Ilustración 16-4:	Caudal en labores de explotación para GALERÍA 200	57
Ilustración 17-4:	Variación de caudales con funcionamiento de sistema secundario tipo aspirante	58
Ilustración 18-4:	Variación de caudales de salida con sistema secundario de tipo aspirante.	59
Ilustración 19-4:	Ventiladores del sistema secundario de tipo aspirante.....	59
Ilustración 20-4:	Ventilador en chimenea de salida	60

Ilustración 21-4:	Ingreso de caudales fijos y un ventilador.....	61
Ilustración 22-4:	Ingreso de caudales fijos y un ventilador.....	61
Ilustración 23-4:	Ingreso de caudales fijos y un ventilador.....	62
Ilustración 24-4:	Salida de caudales.....	62
Ilustración 25-4:	Caudales actuales en relación con alternativa.....	63
Ilustración 26-4:	Caudal en zona de exploración	64
Ilustración 27-4:	Ingreso de caudales fijos y un ventilador.....	64
Ilustración 28-4:	Caudales de ingreso en software Vuma	65
Ilustración 29-4:	Caudales de salida por CH SLD E31 y CH SLD E32	66
Ilustración 30-4:	Pérdidas por GAL 300	66
Ilustración 31-4:	Pérdidas por XC 76.....	67
Ilustración 32-4:	Caudal en línea de exploración en la zona de sistema secundario	67
Ilustración 33-4:	Caudales de entrada y salida en Ventsim y Vuma.....	68
Ilustración 34-4:	Comparación de caudales de entrada y salida en Ventsim y Vuma.....	69
Ilustración 35-4:	Sistema de ventilación secundario tipo aspirante en software Vuma	70
Ilustración 36-4:	Caudal por las chimeneas de salida con SVSA en software Vuma	70
Ilustración 37-4:	Salidas de caudal por las chimeneas de salida en software Vuma.....	71

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: LICENCIA PARA SOFTWARE VUMA

ANEXO B: TERMÓMETRO PARA TEMPERATURA SECA Y HÚMEDA

ANEXO C: ANEMÓMETRO PARA MEDIR VELOCIDAD DEL VIENTO

ANEXO D: MEDICIÓN DE GASES

ANEXO E: MEDICIÓN DE SECCIONES PARA GALERÍA

ANEXO F: MATRIZ DE CONSISTENCIA DE ANTEPROYECTO

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó con la finalidad de simular el sistema de ventilación de la mina Grumintor 3 de la empresa GRUMINTOR S.A ubicada en el Cantón Camilo Ponce Enríquez de la Provincia del Azuay, por consiguiente, se hizo necesario el levantamiento de información in situ de la topografía, dimensiones seccionales y condiciones termohigrométricas de las labores subterráneas, posteriormente se simuló el sistema de ventilación principal y secundario de la mina con uso de los software Ventsim y Vuma aplicados para ventilación de minas subterráneas basados en modelamientos 3D, finalmente en base a la normativa vigente de seguridad y salud del trabajador en el ámbito minero se verificó que las condiciones mencionadas anteriormente estén en los parámetros permisibles para realizar actividades mineras subterráneas. Como resultado se obtuvo que las condiciones térmicas son adecuadas, sin embargo, existe un ambiente muy húmedo, finalmente en cuanto a la velocidad de las corrientes aire son medianamente adecuadas y por ende la falta de caudal de aire para cumplir con los requerimientos, por tal razón se recomendó la implementación de un ventilador en la boca mina de ingreso peatonal para suplir el caudal faltante necesario para cumplir con el requerimiento y la construcción de una chimenea cerca del frente de exploración para una mejor circulación del corrientes de aire contaminado para mejorar la atmósfera minera y velocidad del flujo de aire.

Palabras clave: <TOPOGRAFÍA>, <SOFTWARE>, <VENTILACIÓN SUBTERRÁNEA>, <AZUAY(PROVINCIA)>, <CONDICIONES TERMOHIGROMÉTRICAS>

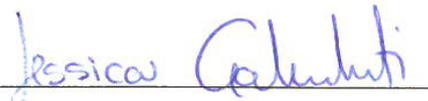


1018-UPT-DBRA-2023

ABSTRACT

The present study aimed to simulate the ventilation system of the Grumintor 3 mine of the company GRUMINTOR S.A., located in the Camilo Ponce Enríquez canton of Azuay province, therefore, it was necessary to collect in situ information of the topography, sectional dimensions and thermohygro-metric conditions of the underground workings, Afterwards, the main and secondary ventilation system of the mine was simulated with the use of Ventsim and Vuma software applied for underground mine ventilation based on 3D modeling. Finally, based on the current regulations on worker safety and health in the mining area, it was verified that the conditions mentioned above are within the permissible parameters for underground mining activities. As a result, it was found that the thermal conditions are adequate; however, there is a very humid environment. Finally, regarding the speed of air currents are moderately adequate and therefore, the lack of air flow to meet the requirements; for this reason, it was recommended the implementation of a fan in the mine mouth of pedestrian entrance to supply the missing flow necessary to meet the requirement and the construction of a chimney near the exploration front for better circulation of contaminated air currents to improve the mining atmosphere and air flow velocity.

Keywords: <TOPOGRAPHY>, <VUMA SOFTWARE>, <UNDERGROUND VENTILATION>, <AZUAY(PROVINCE)>, < THERMOHYGROMETRIC CONDITIONS >, < VENTSIM SOFTWARE >



Lic. Jessica Galimberti Mg.

CI: 175646848-2

INTRODUCCIÓN

La minería en el Ecuador registra sus primeras actividades en épocas antiguas, desde la época prehispánica donde nuestros ancestros se dedicaban a la explotación de Obsidiana la misma que se utilizaba para elaborar herramientas y ornamentos. Durante la llegada de los españoles, se sufrió un cambio significativo, en el cual quedo a un lado la explotación de Obsidiana y se centró en la explotación de otros minerales como oro, plata y cobre entre los principales.

En la última década se ha puesto mayor énfasis en la extracción técnica, racional, segura y responsable de los yacimientos minerales a cielo abierto y subterráneo a gran escala, sin embargo, la pequeña minería subterránea no ha tenido grandes mejoras en cuanto a las técnicas empleadas para un desarrollo completamente viable en cuanto a seguridad, viabilidad económica, salud e integración con el entorno que lo rodea. Por ello, una de las cosas importantes en la minería subterránea sin lugar a duda es la salud de los trabajadores.

La salud de un trabajador en una mina subterránea es muy importante para desarrollar una minería productiva, eficiente, por ende, la calidad de vida de un trabajador debe permanecer dentro y fuera del campo laboral, el cual pueda ofrecer condiciones adecuadas para desarrolla sus actividades laborales y por consiguiente un bienestar en cuanto a calidad de vida, uno de los componentes del bienestar viene dado por la calidad de la atmósfera minera que lo rodea.

Según las normativas establecida en el reglamento de seguridad y salud en el trabajo en el ámbito minero, la ventilación en minería subterránea debe disponer de sistemas de ventilación natural o forzada que permita un suministro permanente de aire fresco y a su vez la salida de aire contaminado o viciado, de igual manera un monitoreo constante de gases y material particulado con el fin de precautelar la salud de los trabajadores que desarrollan las labores mineras en los puestos de trabajo (ARCERNNR, 2020).

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

La ventilación en minería subterránea es un tema de alta relevancia ya que su importancia radica en mantener el ambiente estándar para ejecutar este tipo de minería, debido a que siempre se debe garantizar las condiciones adecuadas de trabajo para el personal que realiza las labores subterráneas.

En este caso, la empresa GRUMINTOR S.A no cuenta con la simulación del sistema de ventilación, ni un modelamiento de las labores de la mina Grumintor 3, por tal razón se ve oportuno la implementación de un modelamiento y simulación del sistema de ventilación el cual permita dar a conocer el comportamiento de las corrientes de aire que ingresa y se distribuye en las labores que contribuyen a la aireación de la atmósfera minera, de igual manera poder estimar y conocer el comportamiento de salida del aire viciado que genera la voladura en los frentes de trabajo.

Los comportamientos que demuestre el sistema de ventilación de la mina el software especializado en ventilación permite dar un criterio cualitativo y cuantitativo en cualquier punto del sistema, conociendo el comportamiento se puede realizar y ejecutar escenarios de pruebas en base a las necesidades del sistema, ya sea en el sentido de incrementar caudales de ventilación o reforzar el sistema empleado para la evacuación de atmósfera minera contaminada, todos los cambios se toman en cuenta las necesidades según la normativa para generar un ambiente subterráneo ideal para desarrollo de las actividades.

1.2. Planteamiento del problema

Los inconvenientes ocurridos en minería subterránea han generado un llamado de atención a todos aquellos agentes involucrados en la extracción de los recursos naturales del subsuelo; estos hechos han demostrado la importancia de garantizar una buena ventilación, ya que con esto se asegura el confort para las personas al interior de la explotación, no solo en términos de temperaturas y concentraciones de oxígeno, sino también en función de la dilución de los gases generados por las voladuras que originan problemas en la salud de los trabajadores ocasionando un declive de la producción en los frentes de trabajo.

Por ende, el trabajo técnico titulado: Simulación del Sistema de Ventilación en la Empresa GRUMINTOR S.A se desarrollará en el campo minero San Gerardo del cantón Camilo Ponce Enríquez de la Provincia del Azuay. Tiene objetivo simular el sistema de ventilación de la mina por medio de software computarizados basados en parámetros geométricos y psicrométricos, para finalmente dar a conocer el comportamiento de un sistema de ventilación condiciona por variables como temperaturas, presión, caudal y velocidades de aire.

Tomando como base lo mencionado anteriormente se pretende dar a conocer por medio de un software la simulación del sistema de ventilación, dicho de otra manera, el comportamiento del sistema con las condiciones que presenta el lugar de estudio, demostrando de manera gráfica y dinámica donde se encuentran las acumulaciones de gases y como fluctúan en función de un fluido que es el aire, y como este se ve relacionado con las condiciones psicrométricas y gases presentes. Por otro lado, en base a los resultados que presente la simulación esquematizar nuevas alternativas al sistema de ventilación ya sea el caso, en el que se pueda demostrar una mejora en cuanto las condiciones que garantice la operatividad, seguridad y salud de los trabajadores, esto ya sea por medio de la implementación de mecanismos que permitan incrementar caudales de aire a los puntos de trabajo, cellar bifurcaciones que llevan a labores abandonadas, el incremento de ventiladores para evacuar el aire viciado o proponer nuevas salidas a estos, todo esto dentro del software de simulación para sistema de ventilación.

1.3. Justificación

Un sistema de ventilación en una mina subterránea es de suma importancia ya que permite el desarrollo de las labores mineras en cada frente de trabajo y sin duda el bienestar y salud de cada trabajador, por tal razón se ve la necesidad de comprobar las condiciones del sistema de ventilación de la mina subterránea GRUMINTOR 3 de la empresa GRUMINTOR S.A.

Un sistema de ventilación debe estar siempre acorde a las necesidades de las labores y el número de trabajadores, por ende, la normativa vigente sobre la seguridad y salud de los trabajadores en el ámbito minero del Ecuador en el 2020 ha establecido que la cantidad de aire por persona y la velocidad mínima de flujo debe ser de 3 m³/min.persona y 15 m/min hasta la altura máxima de 1500m (ARCERNNR, 2020).

La ventilación inadecuada da como resultado un bajo rendimiento de los trabajadores, provocando una disminución de la producción y que de igual forma un aumento de enfermedades pulmonares tales como: silicosis, neumoconiosis de polvo mixto, fibrosis pulmonar, obstrucción crónica.

Haciendo frente a esto se procede a desarrollar la simulación del sistema de ventilación que permita dar a conocer cuáles son los escenarios a los que se encuentran expuestos los obreros a la hora de efectuar las labores en interior mina, en base a ello evidenciar si las condiciones cumplen con los requerimientos técnicos, ambientales del sistema de ventilación, de manera que dado los resultados emprender en direccionar técnicamente para cumplir con un sistema de ventilación permisible, que pueda garantizar la suficiente circulación de corriente de aire en cuanto a calidad y cantidad para los trabajadores en los frentes de trabajo, de igual forma establecer la manera correcta en cuanto a la evacuación de gas viciado.

1.4. Generalidades

1.4.1. Ubicación

La concesión denominada como PINGLIO 1 con código catastral N° 6 de la empresa GRUMINTOR S.A se encuentra ubicada al suroeste del país, al oeste de la provincia del Azuay, en la parroquia y cantón Camilo Ponce Enríquez, limitando al Norte con las concesiones PAPERCON – 495 y QUEBRADA FRÍA – 460, al Este con LAS PARALELAS – 462 y al Sur con AMANECER M3 – 101602.

El área de la concesión está delimitada por sus vértices formados por las coordenadas UTM WG84, que especifica la siguiente tabla:

Tabla 1-1: Ubicación geográfica de la concesión minera PINGLIO 1

Punto	Coordenadas UTM WG84		Superficie (Ha)
	X	Y	
P1	649743	9664240	481
P2	652838	9664222	
P3	652831	9662432	
P4	650837	9662430	
P5	650829	9663122	
P6	649737	9663133	

Fuente: Geoportal de Catastro Minero, 2020.

Realizado por: Ortega, George, 2022.

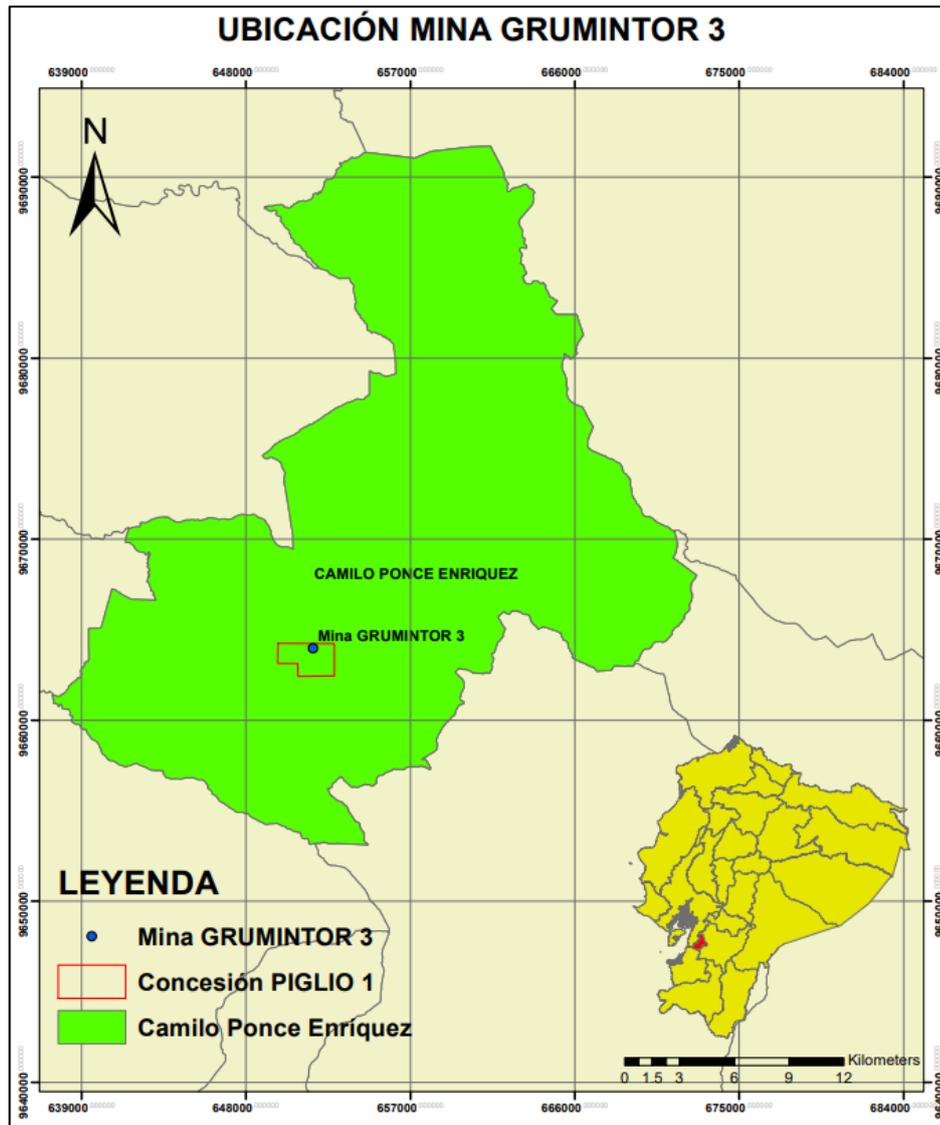


Ilustración 1-1: Ilustración de ubicación de la mina y polígono de concesión

Realizado por: Ortega, George, 2022

1.4.2. *Clima*

Esta zona goza de un clima tropical húmedo con temperaturas que van desde los 22 °C, hasta los 30 °C, aunque existen algunos meses del año en que ésta puede variar. Su topografía es bastante irregular pues posee altitudes que fluctúan desde los 43 m.s.n.m en la cabecera cantonal, hasta los 3680 m.s.n.m. en su parte más alta.

1.4.3. Acceso

La empresa GEUMINTOR S.A cuenta con oficinas en la ciudad de Machala, sin embargo, para ingresar a la concesión PINGLIO 1 de dicha empresa se debe trasladar al cantón Camilo Ponce Enríquez, desde la ciudad Ponce Enríquez se puede acceder por medio de cooperativa de transporte público (Rancheras) o si no también por compañía de taxis (camionetas cuatro por cuatro) y vehículos particulares, según el medio de transporte de elección se dirige aproximadamente 2km por la vía troncal de la costa E35, tomar una vía alterna de segundo orden que se dirige hasta Santa Marta, continuando por una vía de tercer orden durante 40 min hasta llegar la comunidad de San Gerardo, a pocos minutos se encuentra el campamento de la empresa dentro de su área de concesión.

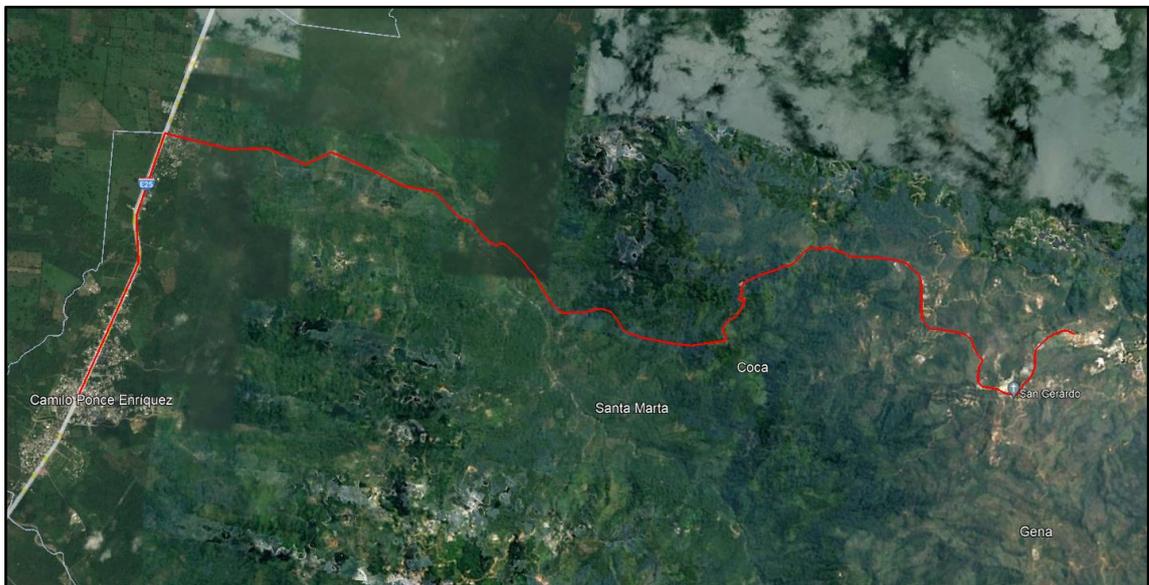


Ilustración 2-1: Acceso a GRUMINTOR S.A

Fuente: Google Earth, 2022

1.5. Marco geológico

1.5.1. Geología local

La mina denominada G3 de GRUMINTOR S.A se encuentra dentro de la formación conocida como San Gerardo, la cual se encuentra delimitado por varias fallas que van en dirección NW – SE: Río Tenguel al Sur, Río Chico y Río Tenguelillo al Norte. La zona está identificada como la Unidad Pallatanga que está caracterizada por asociación afiolítica compuesta principalmente por los basaltos de Bella Rica, localmente almohadillas, con hialoclastitas y sedimentos pelágicos intraflujo, intrusiones de rebanadas tectónicas microgabros, gabros y rocas ultramáficas. Dentro

de dicha secuencia, paralelas al lado Sur de la Falla Río Chico, se consideran por lo menos cuatro unidades de brechas de techo de flujos basálticos masivos que pasan lateralmente de modo gradual a volcanoclastitas indiferenciadas más distales. Característicamente estas brechas contienen fragmentos de cáscara de almohadillas y son esencialmente hialoclastitas.

Localmente la matriz y los fragmentos de basaltos están silicificados, dando la impresión de una roca de composición intermedia. Un grupo de bandas anastomosantes de serpentinitas foliadas está situada a lo largo de la zona de la Falla Río Chico y sus fallas menores asociadas, de rumbo NE, también tienen películas de serpentinitas de Tenguelillo dentro de los basaltos de Bella Rica está elongado en dirección NE y presenta una foliación de la misma dirección tratándose, probablemente, de un ejemplo complementario de fractura (UCP PRODEMINCA, 2000).

Esta compleja formación se encuentra en una peniplanicie elevada a 1200 y 1600 m.s.n.m, donde está ubicada la comunidad de San Gerardo, donde al menos han sido identificados cuatro cuerpos de pórfidos de cuarzo, siendo las más conocidas las Lomas Durán y Don Ernesto, los mismos que se encuentran fuertemente meteorizados y escasamente cubiertos por una cadena de sedimentación que está compuesta por lutitas, limolitas y conglomerados polimícticos. Donde también se ha visto evidenciada la fosilización de madera y hojas, de igual manera dichos conglomerados están compuestos por clastos transportados bastante redondeados de andesita, riolita obsidiana, chert, jaspe y cuarzo de veta, contemplando diseminación de pirita en su matriz (UCP PRODEMINCA, 2000).

1.5.2. Geología regional

El campo minero conocido como la formación de San Gerardo se encuentra ubicado dentro de lo que viene siendo el sub-distrito Machala – Naranjal que conforma la parte occidental del distrito Azuay, bien conocido por la formación de depósitos de tipo pórfidos, en vetas, brechas y “Stok Works” de Au-Cu-Mo, epi-mesotermiales que se formaron dentro de roca de caja volcánica y que especialmente están vinculados con pórfidos. Puesto que la unidad está conformada por basaltos, lávicos masivos, toleíticos y almohadillas con intrusiones básicas y cantidades subordinadas de volcanoclásticas, precipitaciones pelágicas y capas tectónicas de rocas ultramáficas. Donde el pie de la unidad no está evidenciado, y hacia el este está forrada discordantemente por fragmentos de rocas volcánicas, de constitución intermedia a silíceo calco – alcalina de la formación Saraguro. La potencia de dicha unidad comprende aproximadamente en más de un kilómetro en dirección al Este de Camilo Ponce Enríquez (UCP PRODEMINCA, 2000).

1.5.3. Mineralización

Las estructuras perciben de agrupaciones de cuarzo-carbonato auríferas multifase, con pequeños contenidos de sulfuros principales como: arsenopirita, pirita y con cantidades dependientes de calcopirita, como mínimo al 1% y considerando que pueden alcanzar hasta un 15%, llegando formar vetillas semi-masivas en toda la extensión del área minera, también incluye sulfuros como esfalerita y muy a la vista la estibnita, trazas de pirrotina, tennantita, galena y sulfoantimoniuros. El oro como mineral de interés se encuentra generalmente libre (UCP PRODEMINCA, 2000).

1.6. Objetivos

1.6.1. General

Simular el sistema de ventilación de la mina Grumintor 3 por medio del levantamiento de información de las condiciones termohigrométricas, con la finalidad de representar el escenario en los que se ejecutan las labores mineras aplicando software de ventilación.

1.6.2. Específicos

- Levantamiento de la información in situ requerido para la simulación del sistema de ventilación
- Revisar la normativa que estipula los parámetros permisibles termohigrométricos para una ventilación subterránea adecuada.
- Ejecutar el software de ventilación con la información obtenida para representación de los diversos escenarios presentes en la mina.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de investigación

La simulación del sistema de ventilación en minería subterránea se viene realizando con anterioridad de manera local e internacional, esto debido a que se ha deseado conocer el comportamiento del sistema de ventilación con los parámetros técnicos, atmosféricos de mina con el fin de encontrar soluciones para brindar un entorno óptimo para el personal que labora en el interior mina.

Localmente, análisis realizado sobre el sistema de ventilación en la mina Goldmins, en la cual se empleó una campaña para recolección de datos para determinar los inconvenientes del circuito ventilación por medio de un modelamiento realizado en Ventsim para proponer nuevas alternativas de solución, basados en mejorar las condiciones de seguridad laboral, producción y mantener condiciones óptimas de la atmósfera minera (Barrera & Pesántez, 2020).

Así también, estudio de un proyecto integrador que tuvo como objetivo el diseñar el circuito de ventilación de la mina Bonanza, operado por la Empresa Exportadora Aurífera S.A., ubicada en el Distrito Minero Ponce Enríquez, el proyecto basado en la unificación de los dos accesos al yacimiento, Bonanza y El Futuro que se encuentran con una diferencia de altura de 130 m con la finalidad de mejorar el circuito de ventilación por medio de la redistribución del circuito conforme a los requerimientos de aire, implementación de ventiladores con capacidades de suministrar el aire calculado necesario para un circuito de ventilación técnicamente diseñado (Villalba, 2017).

Internacionalmente, estudio realizado en Colombia sobre “Simulación en el software VENTSIM™ de la influencia de la implementación de sellamientos en labores abandonadas en la ventilación de una mina subterránea de carbón” con el propósito de conocer el comportamiento de la mina en cuanto a resistencias equivalentes en los caudales que llegan a los frentes de trabajo y conforme a ello la elección de sellamientos para la implementación de tal forma se busque la optimización de la ventilación en la Mina (Bustamante-Rúa et al., 2018).

Así mismo, el estudio realizado en Polonia denominado “MODELAMIENTO DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN Y CONTROL DE METANO CON EL SIMULADOR VENTSIM™ EN LA MINA SUBTERRÁNEA DE CARBÓN FEZMINE” en el cual tratan de diseñar y analizar

un sistema de ventilación que permita mantener los índices de emisión de metano inocuos para la operación ya que se ha visto la problemática de concentración de metano emitidas desde los paneles de explotación de carbón (González & Ortega, 2019).

2.2. Referencias teóricas

2.2.1. Normativa legal de Ecuador para ventilación de minería subterránea

El Reglamento de Seguridad y Salud en el trabajo en el ámbito minero del apartado CAPÍTULO IV de la normativa vigente para minería subterránea (ARCERNNR, 2020) establece lo siguiente:

- a. Art. 103.- Ventilación en minería subterránea. - En toda la mina subterránea se debe disponer la instalación de su respectivo circuito de ventilación, integrado ya sea de forma natural o forzada con el fin de mantener un suministro continuo de aire fresco y salida del aire viciado.
- b. Art. 104. - Flujo de aire. - Será regulado tomando en consideración el número de personas que laboran en interior mina, el tiempo asignado para desarrollar las labores, el tipo de maquinaria empleado para el desarrollo, emanaciones de bases naturales de la mina y sección de galerías.

Los flujos de aire necesarios por persona están establecidos en función de la altura geográfica sobre el nivel del mar en la que se encuentre la mina.

Tabla 1-2: Aire requerido por persona

Altura de la mina (m.s.n.m)	Flujo por persona m ³ /min
Hasta 1500	3
1500 - 3000	4
3000 -4000	5
Más de 4000	6

Fuente: ARCERNNR, 2020

Realizado por: Ortega, George. 2022

- c. Art. 105.- Ventilación natural.- La ventilación natural es suficiente solo si únicamente cumple con los flujos requeridos en la tabla de flujos de aire del Art. 104.
- d. Art, 106.- Ventilación mecánica.- En el caso de no cumplir con parámetros que tengan relación a los flujos de aire definidos en la tabla del Art. 104, entonces se debe contar con mecanismos que empleen ventiladores principales, secundarios de acuerdo con sus

necesidades, con la finalidad de abastecer de aire todo el lugar de trabajo con velocidades iguales o por encima de 15m/min.

- e. Art. 107.- Ventiladores auxiliares. - En labores mineras que solo posee una vía de acceso con avances mayores a 60 m están obligados a emplear ventiladores auxiliares y en menores avances solo si las condiciones atmosféricas de mina lo exigen.
- f. Art. 108.- Aforo de ventilación. - El titular minero deberá realizar un control de aforo de ventilación de manera semestral en todas las labores mineras donde acceda el personal, considerando tolerar pérdidas no mayores al 15%, los controles se deberán hacer cada vez que se construyan nuevas comunicaciones de chimeneas, galerías, cruceros, tajos y otras labores.
- g. Art. 109.- Monitoreo de gases y material particulado.- Realizar permanentemente monitoreos en cuanto a la calidad de la atmósfera de todas las labores, espacios confinados y lugares que no han sido ventilados o de alguna manera estén abandonadas. El oxígeno en los ambientes laborales debe contener concentraciones mínimas tolerables de 19,50%. La autorización para ejecutar los trabajos se requiere que los valores de las mediciones no sobrepasen los límites de explosividad aceptados internacionalmente en cuanto a las concentraciones superiores e inferiores de gases y material particulado.
- h. Art. 110.- Bolsas de gases.-en las minas que se diagnostique la presencia de bolsas de gases producto de los gases de voladura o acontecimientos naturales se deberá realizar y cumplir con la ventilación adecuada para su erradicación.
- i. Art. 111.- Corrientes de aire viciado.- Toda aquella corriente de aire viciado que afecte o perjudique la salud y la seguridad del personal deberá ser cuidadosamente evacuada de las operaciones mineras.

2.2.2. Definición y componentes del aire

Es una mezcla uniforme de gases que contempla en la atmósfera terrestre, no adquiere una forma o volumen definido y su masa es quien genera la presión atmosférica, su composición está distribuida de la siguiente manera.

Tabla 2-1: Compuestos del aire

Componente	Cantidad %
Nitrógeno N ₂	78.1
Oxígeno O ₂	20.9
Dióxido de Carbono CO ₂	0.03
Argón, otros gases	0.93

Fuente: Jürgen, 2020

Realizado por: Ortega Quezada, George, 2022.

2.2.3. Definición y clasificación del aire de mina

Conocida como atmósfera o aire de mina a una mezcla compuesta por gases con partículas en suspensión que circula a través de las labores mineras propensa a cambios en composición, temperaturas y partículas en suspensión debido a operaciones mineras, tránsito de persona y maquinaria presentes en una mina subterránea, que puede ser clasificada como: fresca cuando ésta resulta plenamente apta para la respiración, viciado cuando el aire no está apto para su plena respiración, tóxico al aire que este compuesto por gases tóxicos que provocan enfermedades y explosivo cuando su composición está ligada a gases que pueden provocar explosiones (Herrera, 2019).

2.2.4. Corrientes de aire

Para ventilación de minería subterráneas es necesario crear corrientes de aire que fluyan de manera constante y sin interrupciones, de modo que la mina cuente con una entrada y una salida de aire al exterior, permitiendo así la circulación de la corriente de aire de ventilación (CETEMIN, n.d.).

2.2.5. Tipos de movimiento de aire

Puede verse clasificado en dos clases de movimientos de aire que pueden verse diferenciados básicamente en su apariencia como en su regularidad mecánica estos son:

- *Circulación Laminar:* se caracteriza principalmente en que las distintas partículas de fluido tienen movimientos semejantes en trayectorias separadas o capas bien ordenadas que recorren unas sobre otras sin mezclarse (CETEMIN, n.d.).
- *Circulación turbulenta:* se basa en las partículas se combinan continuamente creando movimientos en forma de remolinos, tomando un aspecto totalmente irregular (CETEMIN, n.d.).

2.2.6. Ventilación

Es un sistema que aplica principios de mecánica de flujos de aire necesario para contribuir a la gestión y el mantenimiento de una atmósfera con parámetros adecuados en cuanto a la reducción de accidentes o catástrofes en seguridad y salud personal (Herrera, 2019).

2.2.6.1. Ventilación de mina

Un conjunto de trabajos que se ejecutan para suministrar aire que debe fluir por las diferentes labores subterráneas, ya sea de modo natural o mecánico con el objetivo de lograr un ambiente seguro, saludable y satisfactorio para el rendimiento de operaciones por parte de los trabajadores durante su jornada de laboral. Siendo indispensable labores independientes como entrada y salida para cumplir con el proceso de ventilación adecuada, de lo contrario si la mina cuenta solo con un acceso se deberá emplear una ventilación por medio de mangas que conecten a la salida o entrada de ser el caso, esto se considera una ventilación secundaria (Abad, 2017).

2.2.7. Tipos de ventilación

Puede verse claramente dividida en dos tipos:

- Natural o principal
- Mecánica o secundaria

2.2.7.1. Ventilación natural o principal

Son corriente de aire que ingresa al interior de una mina sin la ayuda de una fuerza motriz externa, sino más bien generada por la diferencia de temperaturas y presión que ejerce la superficie en relación con interior mina, siendo utilizado solo en el caso de que cumpla con los flujos de aire establecidos por la normativa (ARCERNNR, 2020).

Se caracteriza por ser un sistema el cual se encarga de transportar aire hasta llegar a las labores mineras de manera constante y sin interrupciones por medio de un circuito que consta de algunos componentes como varias galerías de entrada, diferentes niveles, cruceros o galerías que se reparten a los distintos tajos y por último chimeneas o galerías de salida, todas debidamente conectadas (Herrera, 2019).

La ventilación natural es muy cambiante dependiendo las épocas climáticas y temperaturas fuera de la mina, tomando en cuenta estos aspectos el aire puede ser más o menos denso, por ello no se debe emplear como único medio confiable para la ventilación de operaciones subterráneas (Abad, 2017).

2.2.7.2. Ventilación mecánica o secundaria

Consiste en corrientes de aire generadas principalmente por diferencia de presión de motores mecánicos impulsados por energía eléctrica, mecanismos neumáticos o de motores por combustión, siendo aplicada solo en casos de no cumplir con los flujos de aire necesarios con ventilación natural y para ello se debe implementar ventiladores secundarios o auxiliares según las necesidades para alcanzar velocidades promedio de aire en las zonas de operaciones mineras (ARCERNNR, 2020).

Por consiguiente, son consideradas todas aquellas instalaciones empleadas a la aireación de zonas que no son alimentadas por corrientes de aire que provenga de una ventilación principal, por tal razón, en zonas puntuales de trabajos subterráneos es necesario transportar el aire por medio de tuberías o conductos que permitan aspirar o insuflar el área de trabajo debido a que son zonas propensas a llevar un control adecuado de temperatura, material particulado y gases contaminantes (Herrera, 2019).

2.2.8. Sistemas de ventilación

Basados en los tipos de ventilación se pueden diferenciar unos sistemas ya bien enmarcados como: impelente y aspirante, en la que el impelente el ventilador introduce el aire al interior de la mina, en el caso de la aspirante el ventilador se encarga de evacuar o sacar el aire viciado del interior mina y basados en los sistemas misionados también puede darse un combinada o mixto (Abad, 2017).

Tipos de sistemas de ventilación:

- Sistema de ventilación impelente
- Sistema de ventilación aspirante
- Sistema de ventilación combinada o mixto

2.2.8.1. Sistema de ventilación impelente

El aire es transportado hacia los frentes de trabajo por medio de mangas e impulsado por ventiladores, para desplazar el flujo de aire viciado hacia una corriente principal de galería (Abad, 2017).

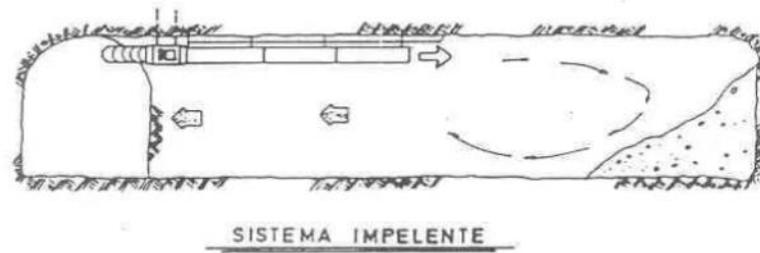


Ilustración 1-2: Esquema de ventilación impelente Ilustración

Fuente: Sergio & Gallardo, 2008.

2.2.8.2. Sistema de ventilación aspirante

Es un método el cual consiste en absorber el aire viciado de los frentes de producción a través de la conexión de mangas a un ventilador que generando presión sobre el aire absorbido permita evacuar estos a una corriente de ventilación principal, promoviendo así el ingreso de un aire no contaminado al frente de trabajo (Abad, 2017).



Ilustración 2-1: Sistema de ventilación aspirante

Fuente: Sergio & Gallardo, 2008

2.2.8.3. Sistema de ventilación combinada o mixto

También llamado un sistema solapado, siendo la implementación de un sistema impelente con el apoyo de un sistema aspirante, el cual consiste en utilizar un ventilador auxiliar cerca al frente de trabajo el cual tiene una manga de poca a longitud, obteniendo así una combinación de ventajas de cada sistema para alcanzar mejoras en cuanto a la aireación de un frente (Abad, 2017).

Este sistema puede verse configurado de dos maneras: En función de que una ventilación principal sea aspirante o en qué el sistema impelente sea la ventilación principal.

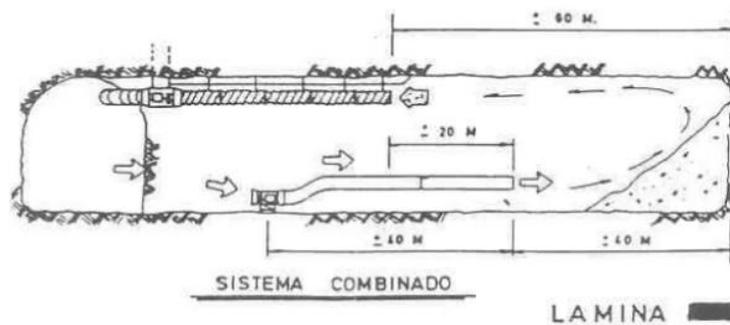


Ilustración 3-2: Sistema de ventilación combinado

Fuente: Sergio & Gallardo, 2008

2.2.9. Condiciones termohigrométricas

Denominado condiciones psicrométricas a los cambios que experimenta el aire por presión, temperatura y humedad en el transcurso de un proceso de ventilación (Gonzales, 2021).

Para obtener condiciones adecuadas para desarrollar el trabajo en minería subterránea es necesario fijar la temperatura y el grado de humedad adecuados, ya que las condiciones de trabajo están sujetas no solo a la temperatura sino también al grado de humedad quién hace que incremente las sensaciones de acenso o descenso de temperatura (Herrera, 2019).

Teniendo en cuenta que hay muchas posibles fuentes de calor en una mina subterránea el aire atmosférico del mismo no es del todo seco, de hecho, es húmedo ya que hay presencia de vapor de agua, por conciencia es necesario definir concentraciones de humedad en el aire. Por tal razón en la práctica se ha tomado en cuenta a tres características: la humedad absoluta, humedad relativa y el grado de saturación (Herrera, 2019).

Sin embargo, el contenido de humedad del aire se determina con la relación indirectamente entre las llamadas temperatura seca y temperatura húmeda.

2.2.9.1. Temperatura seca (t_s)

Es normalmente la temperatura evaluada con el elemento sensor del termómetro en una condición seca, medida por termómetros ordinarios.

2.2.9.2. *Temperatura húmeda (t_h)*

Es aquella que se mide por medio de un termómetro especializado denominado catatermómetro, que básicamente es un termómetro cubierto por una gamuza húmeda que debe estar expuesta a una corriente de aire en la que esta no exceda velocidades superiores a los 3 m/seg (Herrera, 2019).

2.2.9.3. *Temperatura efectiva*

Es un criterio que sirve para medir el bienestar al que se somete una persona al realizar una actividad en un ambiente específico, indicando la limitación de permanencia de una persona en labores subterráneas (Gonzales, 2021).

La temperatura húmeda máxima permisibles es de 32 °C, lo ideal debe ser ≤ 27 °C, recomendable en minería que las temperaturas (t_s-t_h) tenga una diferencia ≥ 2 °C.

2.2.9.4. *Humedad absoluta*

Es la cantidad de vapor de agua por metro cúbico que contiene el aire que se está analizando (CETEMIN, n.d.), se considera un grado de humedad satisfactorio si este tiene valores igual o por debajo del 70, de lo contrario si está por encima se puede evaluar como un ambiente que presenta grados de incomodidad en el ambiente (Herrera, 2019).

2.2.9.5. *Humedad relativa*

Es la relación entre la cantidad de vapor de agua contenido realmente en el aire estudiado y el que podría llegar a contener si estuviera saturado expresado en porcentajes, siendo así que el grado de saturación de vapor de agua en el aire a la temperatura que tiene el aire, dato muy importante que determina minas frías o minas calientes (CETEMIN, n.d.).

2.2.9.6. *Grado de saturación*

Es la cantidad máxima de vapor de agua que puede contener 1 m cúbico de aire en unas condiciones determinadas de presión y temperatura (CETEMIN, n.d.).

2.2.10. Parámetros de ventilación

2.2.10.1. Caudal

El caudal se calcula a partir de la velocidad promedio medida y el área de la sección transversal de la galería. La ecuación es la siguiente (Zitrón, 2010):

$$Q = (V * S) \quad (\text{Ec. 1-2})$$

Donde:

Q = Caudal (m³/s)

V= velocidad promedio (m/s)

S= Área de la sección transversal (m²)

El caudal requerido por el número de trabajadores se considera lo enmarcado en el Art. 104 Flujo de aire para mineras subterráneas del Reglamento de Seguridad y Salud en el Ámbito Minero.

2.2.11. Requerimientos de aire

El caudal de aire necesario para una mina se estima en base al número de del personal en el interior mina, cantidad de polvo en suspensión, consumo de madera requerido por producción, porcentajes de aumento de temperatura y consumo de explosivos, tomando en cuenta también las características del método de minado (Abad, 2017).

El caudal total requerido para las operaciones viene dado por la siguiente ecuación (Abad, 2017):

$$QT_o = QT_1 * QFu \quad (\text{Ec. 2-2})$$

Donde:

QT_o= Caudal total para el desarrollo de operaciones

QT₁= La sumatoria de caudales requeridos por: número de trabajadores (QTr), polvo en suspensión (Qp), consumo requerido por producción (QPr), requerimiento por consumo de explosivos (QEx), caudal requerido por temperatura (QTe).

QFu= Caudal requerido por fugas equivalente al 15% de QT₁

2.2.11.1. Caudal requerido por el número de personas

En base al reglamento se debe ofrecer corrientes de aire fresco no menores a $3\text{m}^3/\text{min}$ y teniendo en cuenta la m.s.n.m donde se desarrollan las operaciones, según lo mencionado se puede estimar de la siguiente manera (Abad, 2017):

$$QTr = F * N \text{ (m}^3/\text{min)} \quad (\text{Ec. 3-2})$$

Donde:

Q = Caudal requerido por el número de personas (m^3/min)

F = Caudal mínimo por persona (m^3/min)

N = Número de personas

2.2.11.2. Caudal requerido por polvo en suspensión

Según la normativa de seguridad española se conoce como “polvo respirable” a aquella fracción de polvo que tiene un tamaño por debajo de las 7 micras, capaz de llegar a depositarse en los pulmones (Herrera, 2019).

Las concentraciones de polvo serían mínimas para velocidades de aire en la labor de aproximadamente 2 m/s o en algunos casos entre el rango de $1,5$ y $3,5\text{ m/s}$ (Herrera, 2019).

En base a la normativa española que ha establecido la clasificación en tres categorías con respecto al polvo de roca de las labores en interior mina para acordar la cantidad de polvo respirable en mg/m^3 de aire, lo cual dice que la clase uno es considerado una labor sin riesgo ya que el peso del aire debe ser menor a $6\text{ mg}/\text{m}^3$, pero de igual manera se aconseja emplear medidas de prevención (Herrera, 2019).

La fórmula para emplear es (Abad, 2017):

$$Qp = V * S \quad (\text{Ec. 4-2})$$

Donde:

Qp = Caudal requerido por contenido de polvo (m^3/min)

V = Velocidad de circulación óptima (m/seg)

S = Área de a sección de galería (m^2)

2.2.11.3. Consumo requerido por la producción

En minería metálica se requiere tomar en cuenta el consumo de madera, y aquí en base a ello se fija el porcentaje de CO₂ existente en la atmósfera, se basa en la siguiente suposición la cual considera la cantidad de gas que se desprende es proporcional a la producción, el cálculo se hace con la siguiente fórmula matemática (Abad, 2017).

$$QPr = (T * u) \quad (\text{Ec. 5-2})$$

Donde:

Q= Caudal requerido por toneladas de producción diaria (m³/min)

u= Norma de aire por tonelada de producción diaria (m³/min)

T= Producción diaria en toneladas

Para minería metálica si el consumo de madera es bajo “u” varía entre 0.6 a 1(m³/min)

2.2.11.4. Requerimiento de aire por consumo de explosivos

Al tratarse de minas metálicas, este método empírico es el que más se aplica. Toma en cuenta la formación de productos tóxicos por la detonación de explosivos, el tiempo que se estima para despejar los gases de galerías y la cantidad máxima permitida, según normas de seguridad para gases en la atmósfera (Gallardo, 2008).

Para ello se emplea la siguiente relación empírica (Gallardo, 2008):

$$QEx = \frac{100 * A * a}{d * t} \quad (\text{Ec. 6-2})$$

Donde:

QEx= caudal de aire requerido por consumo de explosivo (m³/min)

A= Cantidad de explosivo detonado (Kg)

a= Volumen de gases generados por kilogramo de explosivo (0.04m³/kg; valor tomado como norma general)

d= % de dilución de gases en la atmósfera, su dilución no debe ser menos de 0.008%

t= tiempo de dilución de gases, por lo general el tiempo no sobrepasa los 30 minutos

Reemplazando la fórmula se tiene que:

$$QEx = \frac{100 * A * 0.04}{0.008 * 30} \quad (\text{m}^3/\text{min})$$
$$QEx = 16,67 * A \quad (\text{m}^3/\text{min})$$

2.2.11.5. Caudal requerido por temperatura en labores de trabajo (QTe)

Según la legislación chilena estipula que la temperatura húmeda dentro de una mina no deberá exceder los 30 °C para jornadas de 8 horas laborables (Gallardo, 2008).

$$QTe = (A * Vm * N) \text{ m}^3/\text{min} \quad (\text{Ec. 7-2})$$

Donde:

QTe = caudal por temperatura (m³/min)

Vm = Velocidad mínima

A = área de labor promedio

N = número de niveles con temperatura mayor a 23 °C

Como normativa para realizar el respectivo cálculo en relación con la temperatura se establece los siguientes valores.

Tabla 3-2: Velocidad mínima de acuerdo con la temperatura

Humedad Relativa (Rh)	Temperatura Seca (Ts)	Velocidad Mínima
< ó = 85%	24 a 30 °C	30 m/min
> 85%	> 30 °C	120 m/min

Fuente: Gallardo, 2008.

Realizado por: Ortega, George, 2022.

2.2.12. Parámetros físicos de ventilación

2.2.12.1. Área de conducto

Es el área de la sección transversal de labores mineras con el techo abovedado como galerías, rampas y otras labores horizontales (Zitrón, 2010).

$$A = (B * H) * K \quad (\text{Ec. 8-2})$$

Donde:

A= Área de la sección transversal

B= Ancho de la galería

H= Altura de la galería

K= Coeficiente de forma

2.2.12.2. *Perímetro del conducto*

Es la longitud de la sección transversal de las labores mineras con techo en forma abovedada de galerías, rampas, piques y otras labores horizontales.

$$P = B + 1.5H + \frac{1}{2}\sqrt{H^2 + B^2} + \frac{B^2}{2H} \ln \left[\frac{H}{B} + \frac{1}{B}\sqrt{H^2 + B^2} \right] \quad (\text{Ec. 9-2})$$

Donde:

P: Perímetro (m)

B: Ancho (m)

H: Altura (m)

2.2.12.3. *Factor de fricción*

El coeficiente de fricción (K) viene establecido en tablas para labores con determinadas características y considerando la densidad del aire estándar (Prosser & Wallace, n.d.).

$$K = \frac{1}{1.237285 \left[1.74 - 2 \cdot \log \left(\frac{2 \cdot e}{Dh} \right) \right]^2} \quad (\text{Ec. 10-2})$$

La aspereza de la vía de aire se define como las alturas de las asperezas de la vía de aire, divididas entre el diámetro hidráulico (Ecuación de Von Kármán) (Bascompta et al., 2019).

$$Dh = \frac{4A}{P} \quad (\text{Ec. 11-2})$$

$$e = \frac{Rlabor}{Dh} \quad (\text{Ec. 12-2})$$

Donde:

K= Factor de fricción (lb. pie²/pie⁴)

e: espesor de las irregularidades del conducto en m.

Dh: Diámetro hidráulico (m)

A: Área de conducto (m²)

P: perímetro del conducto (m)

Rlabor: Rugosidad de la labor (m)

2.2.12.4. *Factor de choque*

Son causados por cambios en la dirección de flujo de aire o la forma y tamaño del ducto, esas obstrucciones causan pérdidas por choque debido a que reducen el área de la misma, por lo general constituye solamente entre el 10 al 30% de la suma de todas las caídas de presión, por ello las caídas por choque siempre deberían ser consideradas para cálculos más exactos en ductos principales o en distancias cortas del ducto con muchas curvas o cambios en el área.

Al igual que si existen instalaciones que dificultan el paso del aire, tales como cintas transportadoras, entonces se debe descontar el área ocupada por la instalación del área total de la galería. El valor del factor de choque se puede obtener directamente en la gráfica de la relación radio y ancho de la galería o a su vez usar las fórmulas tanto para curvatura redondeada o cerrada.

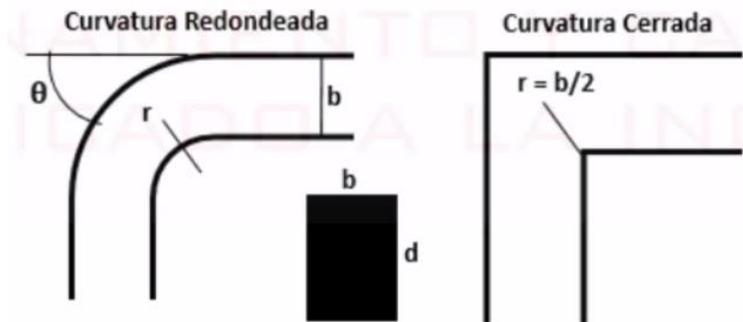


Ilustración 4-2: Tipo de curva para el factor de choque

Fuente: Salcantay. 2021.

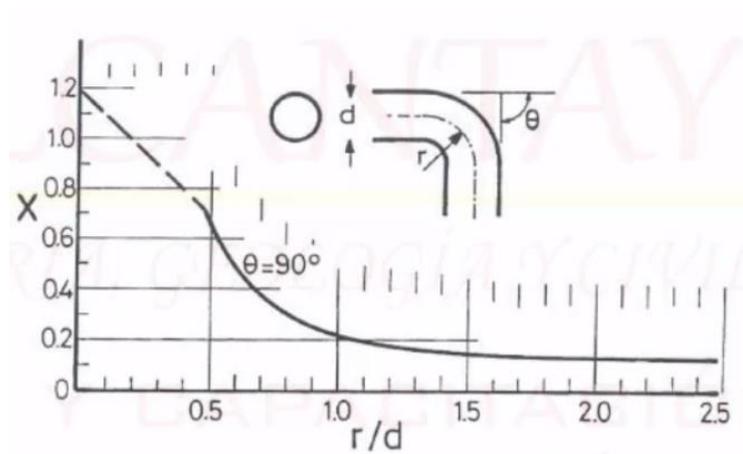


Ilustración 5-2: Relación del radio y ancho de curva

Fuente: Salcantay. 2021.

- Curvatura redondeada

$$X = \frac{0.25}{m^2 a^{0.5}} \left(\frac{\theta}{90} \right)^2 \quad (\text{Ec. 13-2})$$

- Curvatura cerrada

$$X = \frac{0.60}{m a^{0.5}} \left(\frac{\theta}{90} \right)^2 \quad (\text{Ec. 14-2})$$

Donde:

X: Factor de choque

θ : Ángulo de la curvatura

m: Relación entre el radio de la curva y el ancho, r/b.

a: Relación entre la altura y el ancho, d/b

2.2.12.5. *Longitud equivalente*

El método más útil para determinar las pérdidas por choque en ventilación de minas. Este método permite expresar las pérdidas por choque en términos de largos equivalentes de galerías rectas, permitiendo transformar las pérdidas por choque a pérdidas por fricción. Igualando las pérdidas por fricción con las pérdidas por choque y asumiendo el largo L, como el valor del largo equivalente Le. (Prosser & Wallace, n.d.)

$$Le = \frac{3235A}{10^{10} K * P} X \quad (\text{Ec. 15-2})$$

Donde:

Le: Longitud equivalente por choque (ft)

A: Área de la sección transversal del conducto (ft²)

X: Factor de choque

K: factor de fricción (lb. pie²/pie⁴)

P: Perímetro de la sección transversal del conducto (ft)

2.2.12.6. *Presiones en una mina*

La caída de presión es consecuencia de la resistencia de cualquier obstáculo o superficie que impida que el aire pueda fluir libremente por las galerías de una mina. La caída de presión por fricción representa la oposición que las paredes, pisos y techos ejercen en el movimiento de aire a través de ellas. Esta depende de variables como la sección transversal, longitud, perímetro de la galería, coeficiente de frotamiento y densidad del aire que a su vez es función de la temperatura

y presión atmosférica. Atkinson adaptó la ecuación de Darcy-Weisbach, la que se conoce como Ley de Atkinson (B. F. Jürgen, 2020):

$$H_s = R * Q^2 = \frac{K * P (L + Le) * Q^2}{5.2 A^3} \quad (\text{Ec. 16-2})$$

Hs: Pérdida de presión estática (inH_2O)

R: Resistencia del conducto $in. \text{min}/ft^6$

Q: Caudal de aire ft^3/min

K: Factor de fricción $lb. \text{min}^2/ \text{pie}^4$

L: Longitud del conducto ft

Al final del circuito, se ha de tener en cuenta la presión dinámica con la que el aire sale, ya que ésta es una pérdida más. Esta pérdida no tiene mayor complicación y se calcula por la fórmula general de la dinámica. Donde todos los parámetros ya han sido definidos (B. F. Jürgen, 2020).

$$H_{din} = \frac{V\rho}{2} \quad (\text{Ec. 17-2})$$

$$Hv = \rho \left[\frac{V}{1098} \right]^2$$

Curva característica de la mina

$$H_2 = H_1 \cdot \left(\frac{Q_2}{Q_1} \right)^2 \quad (\text{Ec. 18-2})$$

2.2.13. Leyes de Kirchoff

Aplicación de las leyes de Kirchoff para redes de ventilación simples se ven aplicadas de la siguiente manera:

- *Primera Ley.*- Toda la suma de los flujos másico en cualquier unión de la red es igual a cero, de modo que lo que ingresa es lo que sale.(B. F. Jürgen, 2020)
- *Segunda Ley.*- Las caídas de presión al ser sumadas en cualquier circuito cerrado en toda la extensión de la red de ventilación de la mina es igual a cero.

Las leyes de Kirchoff se ven reflejadas en el ejemplo (ver gráfico 2-6).

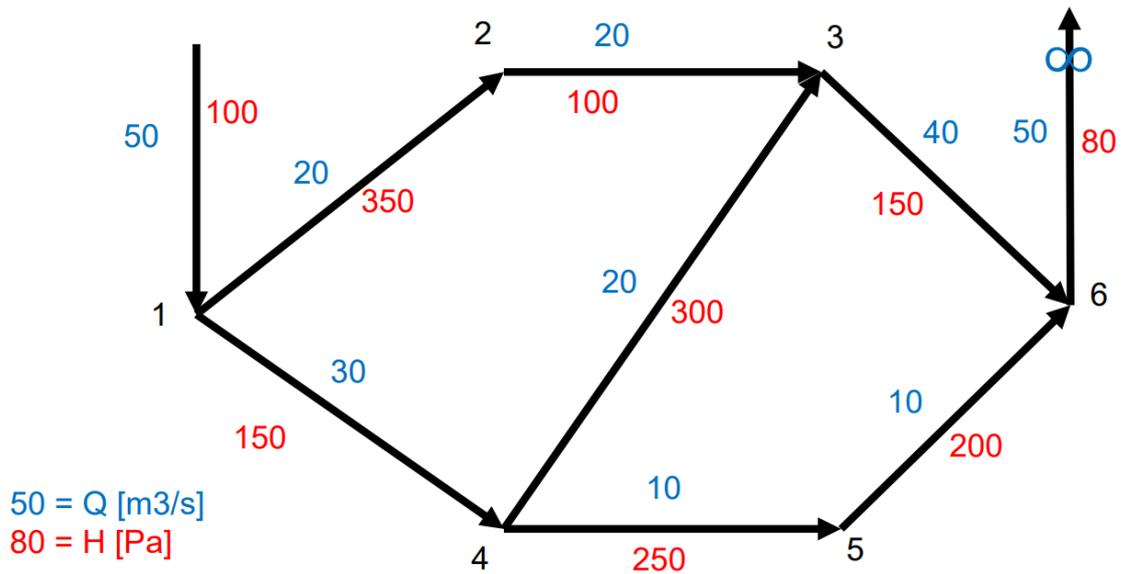


Ilustración 6-2: Ejemplo de una red simple en unidades del sistema internacional

Fuente: Jürgen, 2020.

2.2.14. Software Ventsim

Es un software nonfree o privativo que está enfocado en la simulación de ventilación de minas subterráneas, el mismo que está diseñado para modelar y simular ventilación, flujos de aire, presiones, calor, gases, finanzas, fuego y muchos otros tipos de datos de ventilación que permiten analizar la información gracias a sus herramientas a partir de un modelo de galerías en 3D.

El software se puede encontrar en dos versiones, tales como: VENTSIM™ DISEÑO (Estándar) y VENTSIM™ DISEÑO PRÉMIUM, cada uno con sus ventajas a la hora de realizar una simulación de un sistema de ventilación.

2.2.14.1. VENTSIM™ DISEÑO (Estándar)

- Flujos compresibles - Se modelan los efectos de flujo de aire compresible en profundidad.
- Simulación ambiental termodinámica:
- Calefacción y refrigeración: incluye opciones de calefacción o refrigeración en el análisis de red.
- Entrada térmica de la roca: predice el calor y la humedad emanados de los estratos rocosos.
- Equipo diesel: predice el calor y la humedad generados por el equipo diesel.
- Ventilación natural: utiliza la termodinámica para simular los efectos de la ventilación natural.

- Voladura dinámica - Tiempo de propagación dinámico animado de humo de voladura y dispersión del tiempo de eliminación.
- Simulación de Partículas Diesel - utiliza fuentes de motores diesel para estimar los niveles de DPM en toda la mina.
- Distribución dinámica de calor y gas - Simulación individual de calor y tiempo de gas y propagación a través del modelo con gráficos.

2.2.14.2. *VENTSIM™ DISEÑO PRÉMIUM*

- Todas las características de Ventsim™
- Eventos programables dinámicos de calor y gas - Se pueden ingresar variaciones de calor, aire o gas a intervalos dinámicos preprogramados.
- Simulación de radón - Predecir los niveles de exposición del personal en función de las tasas de emisión de radón de diferentes áreas, y el período de tiempo que el gas puede persistir en la atmósfera de la mina según su diseño de ventilación.
- Rutas de escape - Encuentre el camino más corto a una bahía o superficie de refugio desde cualquier punto de la mina.
- VentLOG™ - Paquete de software para registrar datos topográficos, exportarlos a planos y superponerlos Ventsim™ modelos.
- Simulación de fuego para predecir el calor del fuego, los gases y la dirección del flujo.
- Calculadora de ductos

2.2.15. *Software VUMA-network*

Es un software interactivo para facilitar a ingenieros o profesionales en minería para simular, planificar, diseñar, operar y controlar los sistemas de ventilación y refrigeración de redes de ventilación en minas subterráneas (VumA, n.d.).

Siendo un software gratuito o libre en una sola versión para el uso de cualquier persona interesada en una herramienta para la simulación de sistemas de ventilación de minas subterráneas, presenta las siguientes funciones (VumA, n.d.).

- Permite la simulación simultánea de: flujo de aire, comportamiento termodinámico del aire, gas, emisiones de polvo.
- La comparación de diferentes simulaciones para ver el efecto colateral de cualquier cambio en los parámetros de entrada.

- Limpieza y seguimiento de contaminantes, como el tiempo de limpieza de la explosión.
- Planeando y diseñando
- Optimización energética, detección de fallas y solución de problemas
- Análisis de escenarios hipotéticos
- Verificación del desempeño ambiental

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo de investigación

De tipo experimental: debido a que en el presente trabajo técnico está en dependencia de variables que se muestran en el campo real, los mismos que serán recopilados y plasmados en un medio que ayudara a representar la apariencia en cuanto al comportamiento de las variables.

De tipo transicional: porque los datos recopilados en el campo conciernen a un momento dado, con el propósito de describir las variables y analizar sus comportamientos en su momento, definiendo de alguna manera su alcance.

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

Mina Grumintor 3 de GRUMINTOR S.A

3.2.2. Muestra

Estaciones más representativas en donde se analizó los parámetros de flujos de aire y gases (21 estaciones principales en la línea de galería principal, 10 secundarias en otras galerías y 2 para salidas por chimeneas)

3.3. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

3.3.1. Instrumentos

Los instrumentos empleados para la recopilación de datos son:

- Distanciómetro
- Brújula
- Flexómetro
- Termohigrómetro

- Multidetector de gases
- Software VENTSIM™
- AutoCAD
- Computador portátil
- Estación total

Tabla 1-3: Instrumentos para recopilación de datos

<p>Distanciómetro (Leica DISTO X4)</p>	<p>Es un instrumento con cámara Digital Pointfinder que le permite apuntar y medir con precisión objetos distantes bajo la luz del sol, muy práctico gracias a que ofrece varias opciones de medición, siendo muy útil a la hora de realizar mediciones de distancias y ángulos de inclinación, de tal manera que contribuyó con el levantamiento de la topografía subterránea de líneas ejes para galerías, piques y secciones, con ello poder trazar en el software.</p>
	
<p>Brújula Azimutal Brunton</p>	<p>Un instrumento de mucha importancia que sirve para orientar con respecto al norte, medido en grados de azimut para dar dirección a una distancia, con esto se logró tomar el azimut de cada tramo o longitud de galerías y piques.</p>
	
<p>Anemómetro (testo 405-V1)</p>	<p>Es un termoanemómetro con sensor que permite una lectura digital particularmente adecuado para las mediciones de velocidad en conductos de ventilación, por lo cual se empleó para la medición de velocidades del viento en la boca mina y las galerías, se empleó porque realiza mediciones de gran exactitud en el rango entre 0 y 2 m/s siendo óptimo para este caso.</p>
	
<p>Medidor de temperatura y humedad (PROTMEX 618)</p>	<p>Este termómetro digital que permite medir las temperaturas y humedad, que está diseñado para combinar las funciones de medidor de temperatura, medidor de humedad, temperatura de bombilla húmeda y temperatura de punto de rocío, siendo el instrumento de vital importancia para recopilar las variaciones de temperatura y humedad en las diferentes estaciones fijadas para la medición en el interior mina.</p>
	
<p>Detector de gases (ACEGMET)</p>	<p>Es un multidetector de gases que puede dar lectura a: monóxido de carbono (CO), oxígeno (O2), sulfuro de hidrógeno (H2S) y combustibles (EX); dicho detector se empleó para cuantificar los porcentajes de oxígeno y monóxido de carbono en las estaciones establecidas.</p>
	

Realizado por: Ortega, George, 2022

3.3.2. Técnicas

Las técnicas esenciales aplicadas para la recopilación de datos son:

- Compilación de información y reconocimientos del sistema de ventilación.
- Levantamiento topográfico subterráneo del sistema de ventilación y sus componentes.
- Dimensionamiento de áreas y perímetros de las secciones de galerías, piques, etc.
- Posicionamiento de estaciones.
- Mediciones termohigrométricas.
- Medición de la velocidad de corrientes de aire.
- Cuantificación de los gases presentes.
- Tratamiento de datos recopilados.
- Importación de datos a software de ventilación, modelamiento y simulación.

3.3.3. Procedimiento de recolección de datos

3.3.3.1. Compilación de información y reconocimientos del sistema de ventilación.

Está basada en la recopilación de información de diferentes fuentes bibliográficas con referencia a la ventilación de minería subterránea, de las cuales se procederá a tomar diferentes teorías que se empleen para obtener datos y realizar los cálculos necesarios para en el modelamiento de un circuito de ventilación de minas subterráneas.

En cuanto al reconocimiento del sistema de ventilación comprende en analizar el sistema actual de la mina en función de: los trabajos realizados en los diferentes frentes de trabajo y de igual manera contabilizar el número de obreros presentes, el desarrollo de la explotación, como está compuesto el sistema de ventilación y que tipo de ventilación se maneja, identificar la dirección de caudales de aire y demás factores que influyan en el sistema actual de ventilación.

3.3.3.2. Levantamiento topográfico subterráneo de la mina y sus componentes

Partiendo desde coordenadas debidamente ya establecidas para la ubicación de la mina y levantamiento topográfico de los puntos de acceso y líneas ejes principales de las labores que se extienden hacia el interior mina, como son galerías de línea principal de acceso, cruceros, tajos, chimeneas, piques y también la ubicación de ventiladores, mangas y otros componentes necesarios para la ventilación de la mina.

3.3.3.3. Posicionamiento de estaciones

Se basa en situar los puntos o lugar donde se lleve a cabo el control o recopilación de información con respecto a las condiciones termohigrométricas, cuantificación de los componentes de la atmósfera minera y medición de velocidades de aire, estos puntos deben ser medianamente bien ubicados permitiendo dar a conocer los cambios entre estaciones.

3.3.3.4. Dimensionamiento de secciones de galerías.

Parte fundamental para realizar el modelamiento de un sistema de ventilación, consiste en realizar por medio de instrumentos el dimensionamiento de áreas y perímetros, la precisión de la sección se ve reflejado en su geometría, para el área se mide la base y la altura, si sus vértices son definidos se multiplica la base por altura y si no al resultado se multiplica por un coeficiente de forma que asimila lo más posible a la sección real.

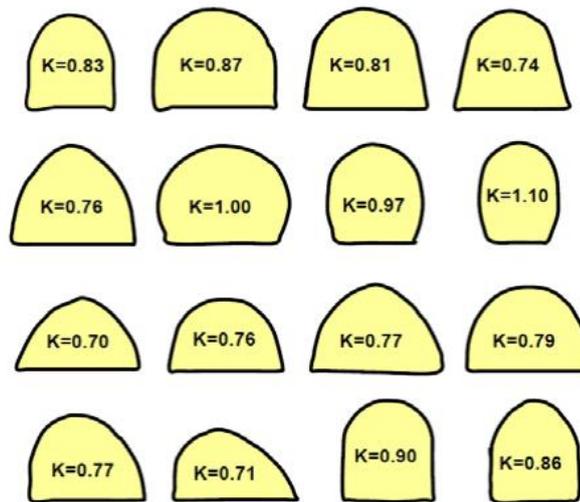


Ilustración 1-3: Valores de K para tipos de secciones

Fuente: Zitrón, 2010.

3.3.3.5. Mediciones termohigrométricas

Consiste en cuantificar los valores de temperatura seca, húmeda y humedad relativa del aire minero por medio de instrumentos de lectura rápida como lo es el termohigrómetro para posteriormente identificar la temperatura efectiva de cada estación y conocer el comportamiento de estas condiciones con respecto al tiempo y distancia de los accesos de aire.

3.3.3.6. Medición de la velocidad de corrientes de aire

Se basa en medir las diferentes velocidades del aire en las estaciones definidas de toda la mina con un anemómetro de hilo térmico, considerando que el tipo de movimiento del aire no es uniforme por lo tanto se caracteriza como turbulento, tendiendo a variar la velocidad del aire en toda el área y para ello se genera una serie de puntos que permitan obtener valores de velocidades promedio en todas las estaciones, esto se procede por medio de un recorrido alrededor y centro del área de la sección con el instrumento perpendicular a la corriente de aire, en cada punto de muestra el instrumento debe permanecer hasta que la velocidad del aire sea lo más estable posible y luego tomar el valor.

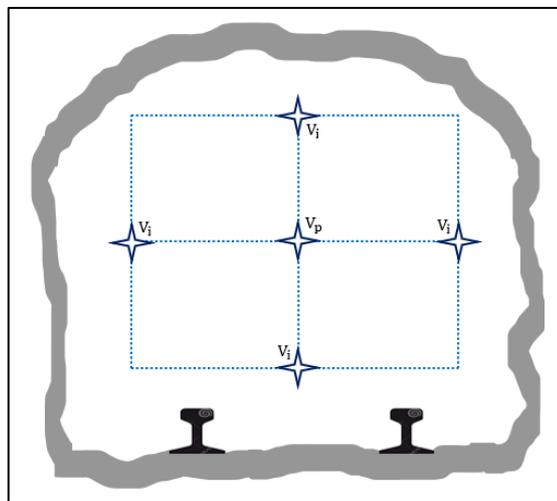


Ilustración 2-3: Esquema del perfil de puntos para obtención de velocidades.

Realizado por: Ortega, George. 2022

3.3.3.7. Cuantificación de los gases presentes

La compilación de concentraciones de gases presentes en la atmósfera de mina se procesa a cuantificar por medio de un multidetector de gases, tales como el oxígeno (O_2) en %, monóxido de carbono (CO) en PPM.

3.3.3.8. Tratamiento de datos recopilados

Consiste en organizar toda la información recopilada de la mina en cuanto a mediciones de secciones, temperaturas, condiciones de aire, con el fin de representar de forma clara y proceder a determinar los diferentes caudales de aire en cada una de las estaciones de aforo, para lo cual

antes se realiza el cálculo del área de cada una de estas secciones que van a variar debido a la geometría heterogénea de las galerías.

3.3.3.9. Importación de datos a software de ventilación, modelamiento y simulación

Basada en la correcta caracterización de la mina en cuanto a base de datos, se procede a transportar toda la información al software de ventilación para ejecutar las debidas simulaciones, en primer lugar, la simulación busca representar el circuito actual de ventilación, luego se pretende dar las respectivas correcciones en el caso de ser necesario para encontrar el correcto sistema de ventilación por medio de la simulación de diversos escenarios que podría ser implementado para dar con la óptima atmosfera de mina.

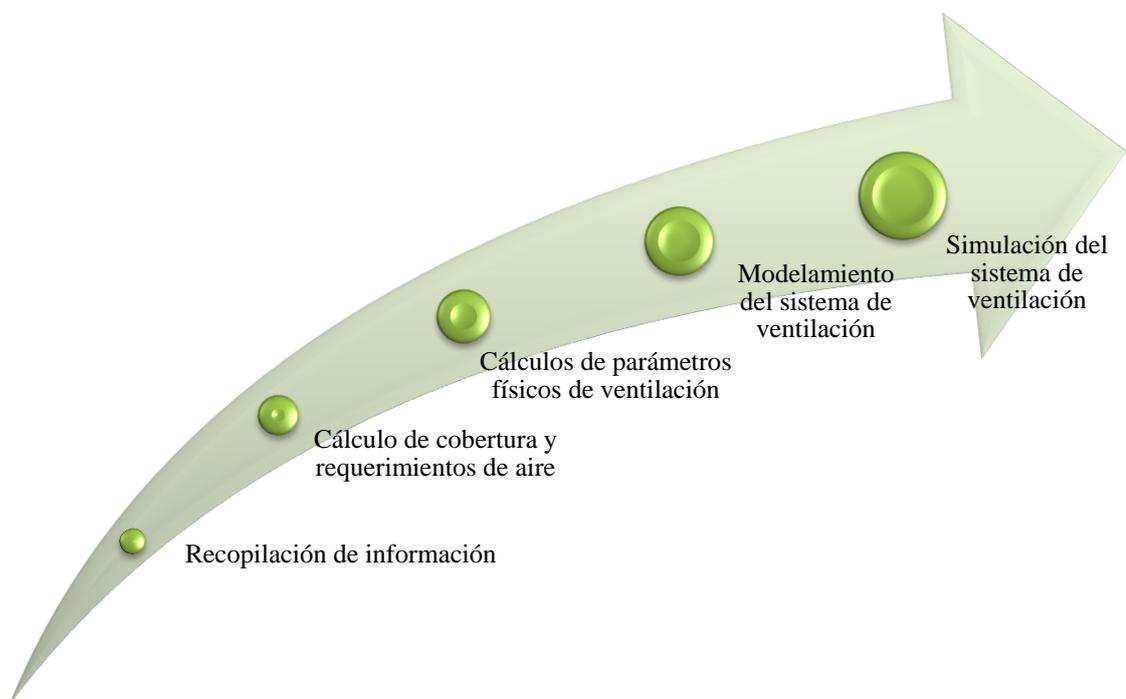


Ilustración 3-3: Flujograma para del procedimiento de simulación

Realizado por: Ortega, George, 2022.

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Caracterización actual del sistema de ventilación

El sistema actual de ventilación de la mina se realiza por medio de una ventilación principal de forma natural, misma que cuenta solo con un nivel cero, se identifica con tres entradas o bocaminas por donde ingresan las corrientes de aire, una de ellas es la entrada por donde ingresa el equipo de transporte de material y otros equipos o maquinaria, otra entrada llamada “peatonal”, la misma que hasta cierto punto está considerada solamente para el ingreso del personal de trabajo para interior mina, por último una entrada más que por el momento solo sirve como entrada de aire para la ventilación. Las entradas tanto de “transporte” como “peatonal” cuentan con ubicación preferencial con la dirección de las corrientes de aire que se generan en la superficie debido al relieve del terreno, en cuanto a la tercera entrada su ubicación no tiene preferencia alguna a las corrientes de aire de la superficie como las otras, por lo tanto, no influye en gran medida al caudal de aire para la ventilación. En su mayoría las galerías tienen una sección de forma abovedada.

En cuanto a las aportaciones de caudales de aire, tanto la entrada de transporte como peatonal aportan con buenos caudales gracias a las corrientes de aire que por lo general alcanzan velocidades considerables, estas velocidades dependen mucho de la situación climática que haya en la superficie, los caudales de aire que ingresan por dichas entradas llegan a tener conexión algunos metros adentro, de modo que se genera un solo caudal que recorre por toda la línea de la galería principal, a lo largo de la galería principal se puede encontrar varias bifurcaciones, unas que de alguna manera no influyen en cuanto a pérdida de caudal y otras que si pueden afectar ya que disminuyen el caudal de aire que ingresan hasta los puntos de trabajo mientras atraviesa por estas.

El aire viciado del interior mina generado por las labores de perforación y voladura son evacuados por medio de un sistema de ventilación secundario de tipo aspirante, el cual por medio de ventiladores axiales y mangas conectadas se evacúa hasta cierto punto permitiendo así avanzar con las labores mineras, pero el aire viciado no es evacuado como tal hasta la salida por la boca mina, si no que se intenta evacuar cerca de una bifurcación, la cual está conectada al sistema de ventilación, mismo que tiene salida por accesos a tajos que se conectan a la chimenea de una mina que está sobre GRUMINTOR 3, siendo esta la cual está conectada a superficie.

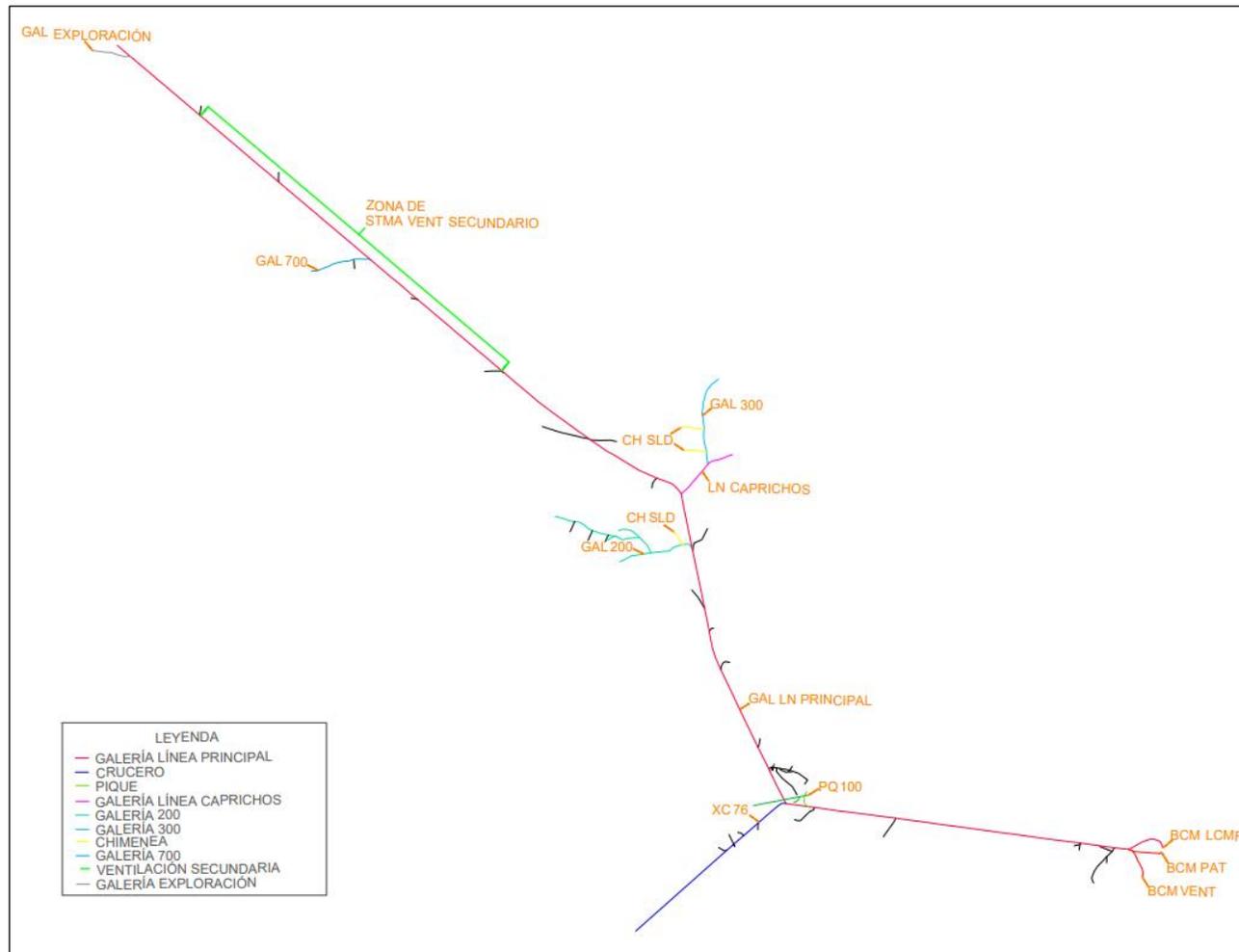


Ilustración 1-4: Mapa de la mina GRUMINTOR 3

Realizado por: Ortega, George, 2022.

4.2. Evaluación del sistema actual de ventilación

La galería principal que recorre toda la mina cuenta con una distancia de 2375.35m desde la boca mina hasta el final donde se realizan trabajos de exploración, las bifurcaciones principales que afectan poco o mucho las corrientes de ventilación viene dado principalmente por; PIQUE LA UNIÓN, CRUCERO 76, GALERÍA 200, GALERÍA LÍNEA CAPRICHOS, GALERÍA 700.

Las corrientes de aire para ventilación ingresan y recorre toda la línea de la galería principal aportando así aire fresco a todas las labores desarrolladas hasta llegar al final con las labores de exploración. La condición de la atmosfera de la mina puede verse representado por cambios de temperatura, humedad, gases y velocidad del aire a lo largo de la galería principal.

El sistema de ventilación cuenta con la implementación de un sistema secundario de tipo aspirante a una distancia de 1601m desde la boca mina, la cual desde dicho punto tiene una extensión de 565.75m, misma que sirve para la evacuación del aire viciado de las labores de exploración por medio de seis ventiladores axiales conectados con mangas, el aire contaminado causado por la voladura es evacuado hasta aproximadamente 1215m desde el lugar de origen hasta la bifurcación entre la GALERÍA LÍNEA PRINCIPAL y LÍNEA CAPRICHOS, siendo la LÍNEA CAPRICHOS quien conecta con la GALERÍA 300 donde se encuentra un acceso a tajos que en la parte superior hay una conexión con la chimenea quien tiene salida a superficie, al igual que en el ingreso a la GAL 200 se encuentra una salida con conexión a la chimenea mencionada.

El sistema secundario aspirante se pone en marcha una vez realizada la voladura, mientras tanto permanece fuera de servicio con el fin de abastecer con el ingreso de aire fresco al punto de labores de exploración.

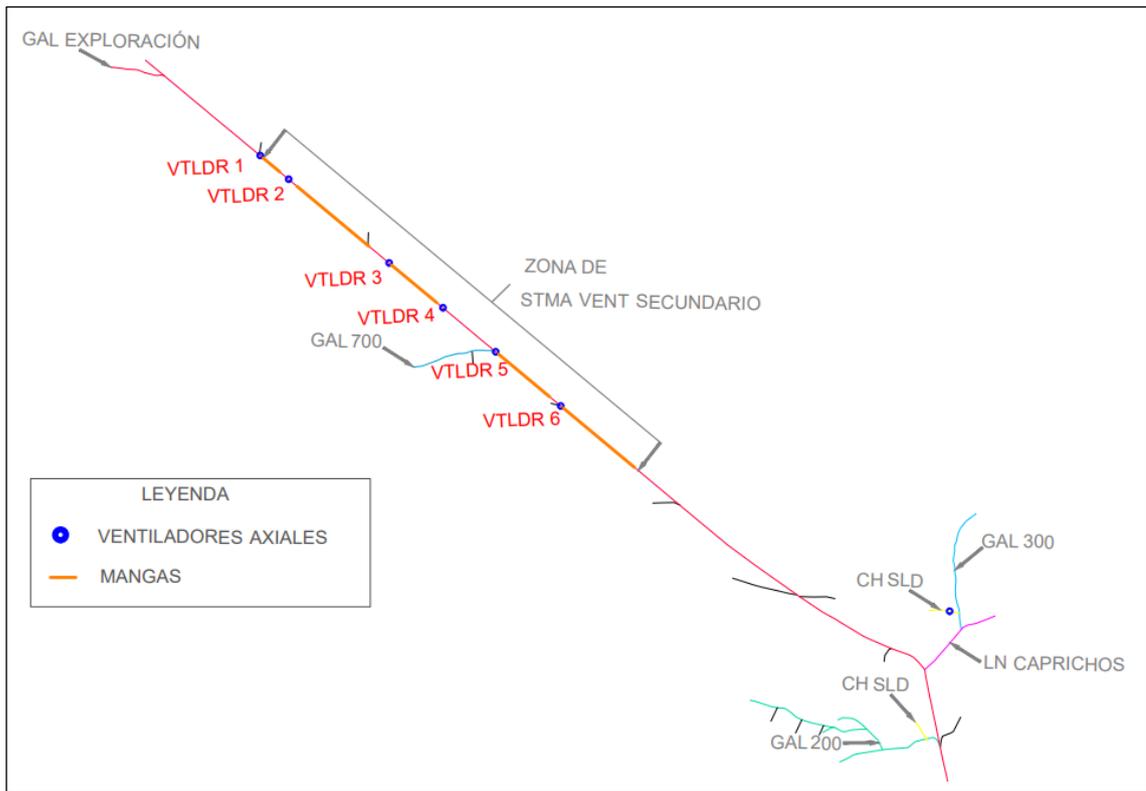


Ilustración 2-4: Mapa de identificación del sistema de ventilación secundario tipo aspirante

Realizado por: Ortega, George, 2022.

4.3. Levantamiento de parámetros de ventilación

Para ejecutar el levantamiento de información de ventilación se procedió a tomar datos de información de la mina, tales como operacionales y ambiental.

Tabla 1-4: Parámetros de operación

Parámetros de operación	
Altitud promedio	846.738 m.s.n.m
Método de minado	Corte y relleno convencional de caserones
Horario de Trabajo	Guardia A 06:20 - 12:20 Guardia B 12:00 - 18:20 Guardia C 07:20 - 00:20 Guardia D 00:20 - 06:00
Horario de Voladura	Guardia A 17:30 Guardia B 17:30 Guardia C 00:20 Guardia D 5:30

Tiempo ventilación luego de voladura	60 minutos
Explosivos utilizados	Emulsión
Limpieza y carguío	Pala neumática
Transporte	Locomotora
Guardias / día	4
Personas / guardia	27
Velocidad máxima de aire	54.45 m/min
Velocidad mínima de aire	0.90 m/min
Producción mina	22.5 Ton/día 472.5 Ton/Jornada

Realizado por: Ortega, George, 2022

Tabla 2-4: Parámetros ambientales

Parámetros ambientales	
Temperatura Bulbo seco	23.60 °C
Temperatura Bulbo Húmedo	23 °C
Presión Barométrica promedio	76145.3 Pa o 0.761 bar
Humedad Relativa	94.76%
Densidad del aire en mina	0.0679 lb/ft ³ 1.090 kg/m ³

Realizado por: Ortega, George, 2022

En la mina Grumintor 3 se trabaja con un sistema combinado de ventilación natural y con un sistema aspirante para la extracción de aire viciado con la ayuda de ventiladores axiales.

Primero se realizó un reconocimiento e identificación de los ingresos y salidas de aire presentes en la mina, posteriormente cumplir con el levantamiento topográfico subterráneo de las labores presentes, para posteriormente definir los puntos de estación o monitoreo que sirve para la toma de información en toda la extensión de la galería lía principal y labores anexas, donde se tomó información sobre velocidad, temperatura, humedad relativa, gases.

Para el caso de chimeneas la velocidad de aire es tomada fuera de la zona de turbulencia que se genera al pie de la misma y considerando el mismo principio para las cuervas en las galerías.

En el levantamiento de información de campo se establecieron un total de 33 estaciones distribuidas de la siguiente manera:

- Estaciones de entrada y salida: 3 y 2 respectivamente
- Estaciones en la galería de línea principal: 18
- Estaciones en labores secundarios: 10

4.4. Aforo de caudales (Ingreso y Salidas)

El aire que abastece para el sistema de ventilación de la mina ingresa por tres accesos, entrada de locomotora, paso peatonal y una boca mina de ventilación. Dando un caudal total de 379.35 m³/min o lo que es igual a 13396.45 CFM.

Tabla 3-4: Caudal total de ingreso

Estación	Ubicación		Sección			Velocidad		Caudal	
	Nv	Labor	Base (m)	Altura (m)	Área (m ²)	m/s	m/min	m ³ /min	CFM
E1	N0	BMLCMR	1.67	1.88	3.14	0.72	43.41	136.28	4812.62
E2	N0	BMPAT	1.37	2.06	2.82	0.52	31.09	182.8	6445.68
E3	N0	BMVENT	1.74	2.06	2.88	0.35	20.74	60.26	2128.15
							TOTAL	379.34	13386.45

Nota: BM (Bocamina), LCMR (Locomotora), PAT (Peatonal), VENT (Ventilación)

Realizado por: Ortega, George, 2022

El aire viciado de la mina originado en los caserones de la GALERÍA 200 es evacuado por una chimenea que se encuentra en la entrada de la misma, mientras que para la galería de exploración se evacua por medio de un sistema de ventilación secundario de tipo aspirante hasta la proximidad de la bifurcación entre la GALERÍA LÍNEA PRINCIPAL y LÍNEA CAPRICHOS quien conecta con la GALERÍA 300 donde se encuentra un acceso a tajos que conecta a la chimenea que sale a superficie.

Los caudales de salida son reflejados en la siguiente tabla que representan salidas en estado natural, es decir sin la ejecución de algún tipo de ventilación secundaria, dando como resultado la salida de 255.5 m³/min o 9024.73 CFM.

Tabla 4-4: Caudal total de salida

Estación	Ubicación		Sección			Velocidad		Caudal	
	Nv	Labor	Base (m)	Altura (m)	Área (m ²)	m/s	m/min	m ³ /min	CFM
E1	N0	CH SLD	2.4	2.6	6.24	0.37	22.25	138.84	4903.09
E2	N0	CH SLD	2.2	2.4	5.28	0.51	30.8	162.62	5743.01
							TOTAL	301.46	10646.1

Nota: CH (Chimenea), SLD (Salida)

Realizado por: Ortega, George, 2022

Al resolver el balance de caudal de entrada y de salida se obtuvo la diferencia de 77.88 m³/min o 2750.35 CFM, siendo así que del total de caudal que ingresa solo el 79.46% sale de manera constante y de forma natural, mientras que el 20.53% tiene salidas en bifurcaciones, pérdidas de presión y resistencias a lo largo de la galería línea principal los cuales en este caso no son tomados en cuenta.

Tabla 5-4: Balance de caudal de ingreso y salida

Resumen	Caudal	
	m ³ /min	CFM
Ingreso total	379.35	13396.45
Salida total	301.46	10646.1
Diferencia	77.89	2750.35
% salida	79.47	2806.44
% pérdida	20.53	725.03

Realizado por: Ortega, George, 2022

4.5. Análisis de velocidades por estación

Se realizó el análisis de las velocidades en las estaciones de monitoreo donde se obtuvo el siguiente resultado.

Tabla 6-4: Estaciones con las velocidades de aire

ESTACIÓN	COORDENADAS			VELOCIDAD			
	X	Y	Z	VmT1	VmT2	VmT3	VmPm
E1	652561.551	9665170.34	846.738	46.65	44.33	31.43	40.80
E2	652571.109	9665165.28	846.811	26.03	38.55	25.95	30.18
E3	652604.565	9665139.09	846.811	21.83	18.60	24.98	21.80
E4	652563.581	9665105.88	846.848	54.93	53.08	55.98	54.66
E5	652565.686	9665093.19	846.94	3.00	2.63	6.75	4.13
E6	652546.461	9664974.15	847.518	44.85	47.73	45.58	46.05
E7	652519.778	9664776.66	848.898	43.48	40.70	54.45	46.21
E8	652501.925	9664640.98	850.73	42.13	44.00	45.08	43.73
E9	652485.702	9664617.3	851.083	11.40	8.10	14.03	11.18
E10	652495.48	9664581.18	851.237	7.20	1.58	1.28	3.35
E11	652561.648	9664503.25	851.878	0.90	1.20	1.05	1.05
E12	652488.931	9664586.13	851.159	38.10	35.08	39.58	37.58
E13	652358.671	9664521.38	852.556	35.20	35.10	34.55	34.95
E14	652241.458	9664472.56	853.521	35.01	35.08	34.50	34.86
E15	652120.076	9664447.59	854.355	34.02	33.70	34.08	33.93
E16	652092.549	9664456.73	854.384	1.95	1.95	2.33	2.08
E17	652098.837	9664430.31	854.559	8.25	7.28	2.10	5.88
E32	652100.95	9664430.31	859.09	26.20	26.10	26.80	26.37
E18	652082.703	9664357.23	855.364	3.45	2.33	1.80	2.53
E30	651995.04	9664452.76	855.99	33.60	32.80	33.90	33.43
E31	651956.98	9664463.12	860.15	17.80	19.63	18.52	18.65
E33	651945.98	9664463.75	856.74	1.80	2.01	1.62	1.81
E19	652011.7	9664419.69	855.361	1.95	2.40	1.95	2.10
E20	651964.932	9664328.96	856.251	2.18	1.50	1.73	1.80
E21	651918.925	9664259.67	856.573	2.33	3.90	3.00	3.08
E22	651789.125	9664098.3	857.35	1.88	2.33	1.58	1.93
E23	651676.263	9663963.8	858.044	1.73	2.55	2.03	2.10
E29	651662.12	9663932.98	858.45	1.20	1.02	1.30	1.17
E24	651552.563	9663816.4	858.862	1.05	1.88	1.43	1.45
E25	651456.335	9663701.74	859.314	1.35	1.52	1.73	1.53
E26	651396.513	9663630.45	859.554	1.35	1.43	1.80	1.53
E27	651344.296	9663568.16	859.701	2.03	1.70	1.65	1.79
E28	651349.533	9663556.98	859.759	2.10	1.45	1.48	1.68

Realizado por: Ortega, George, 2022

Las velocidades en las estaciones de monitoreo permite observar que de 33 estaciones, los 3 ingresos de aire abastecen con las velocidades respectivas según la normativa al 100%, 18 pertenecen a la línea principal de las cuales solo 6 permiten una velocidad adecuada que rige la normativa para ventilación de en labor subterránea, dando un 33.33% de cumplimiento, 10 estaciones en labores anexas a la línea principal lamentablemente no mantienen velocidades adecuada para ventilación, dando un total de cumplimiento del 30% en relación a las 33 estaciones, siendo así que los caudales de salida en las dos conexiones a chimeneas no demuestra la salida continua del caudal que ingresa.

A continuación, en la ilustración 3-4 se puede observar la línea de velocidad de aire en la galería línea principal nivel 0 y la línea de velocidad de aire adecuado para ventilación de labores subterráneas (15 m/min), dando a conocer que a partir de la estación 14 todas se encuentran por debajo de lo adecuado según la normativa.

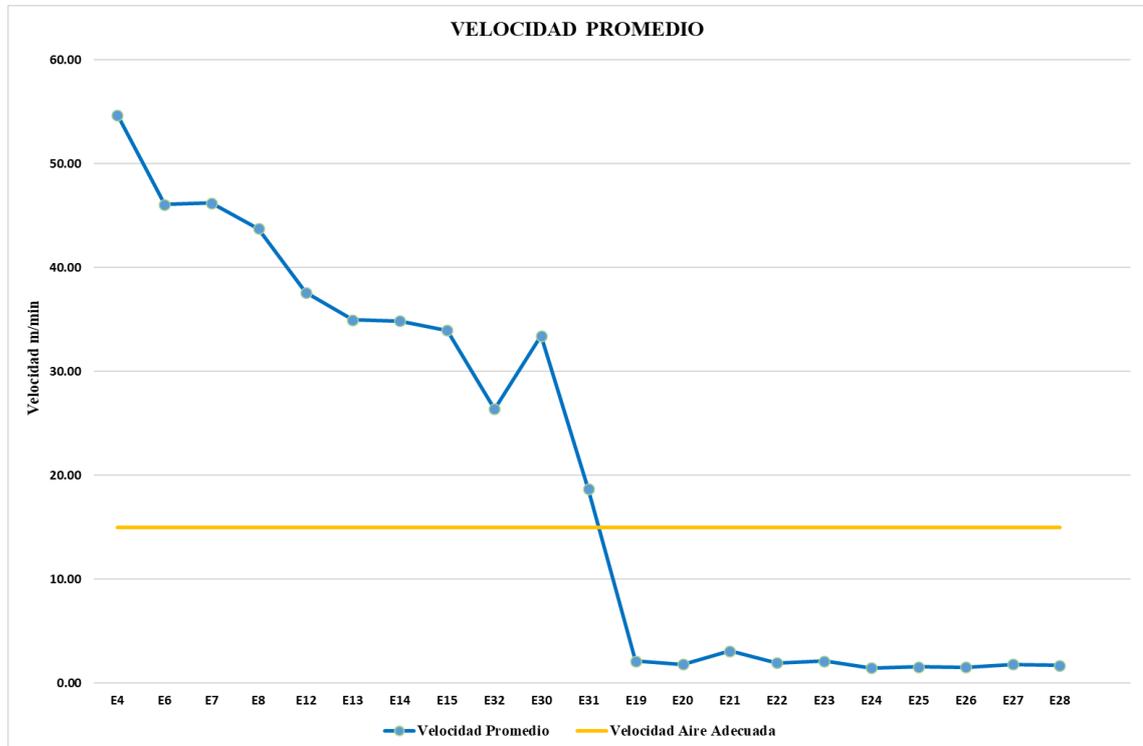


Ilustración 3-4: Relación velocidad de aire actual con la velocidad adecuada **Ilustración**

Realizado por: Ortega, George, 2022

4.6. Análisis de temperatura

Tomado como un criterio de bienestar a la temperatura efectiva para que una persona pueda realizar una actividad en un ambiente subterráneo la cual se encuentra relacionando la temperatura húmeda y seca, teniendo en cuenta la temperatura húmeda máxima permisible de 32 °C o como también lo ideal ≤ 27 °C y la diferencia entre $T_s - T_h \leq 2$ °C.

Al realizar la recopilación de temperaturas en las estaciones establecidas y posteriormente hacer un análisis de todas las estaciones, como resultado se obtuvo en cuanto a la temperatura seca (T_s) mínimo 18.25 °C y como máximo 25.9 °C, en cuanto a la temperatura húmeda (T_h) mínima 17.801 °C y como máxima 25 °C, para posteriormente en base a los resultados decir que en cuanto a temperatura se está trabajando dentro de las temperaturas ideales en cuanto a seca y húmeda, finalmente una temperatura eficiente dentro de los 2 °C.

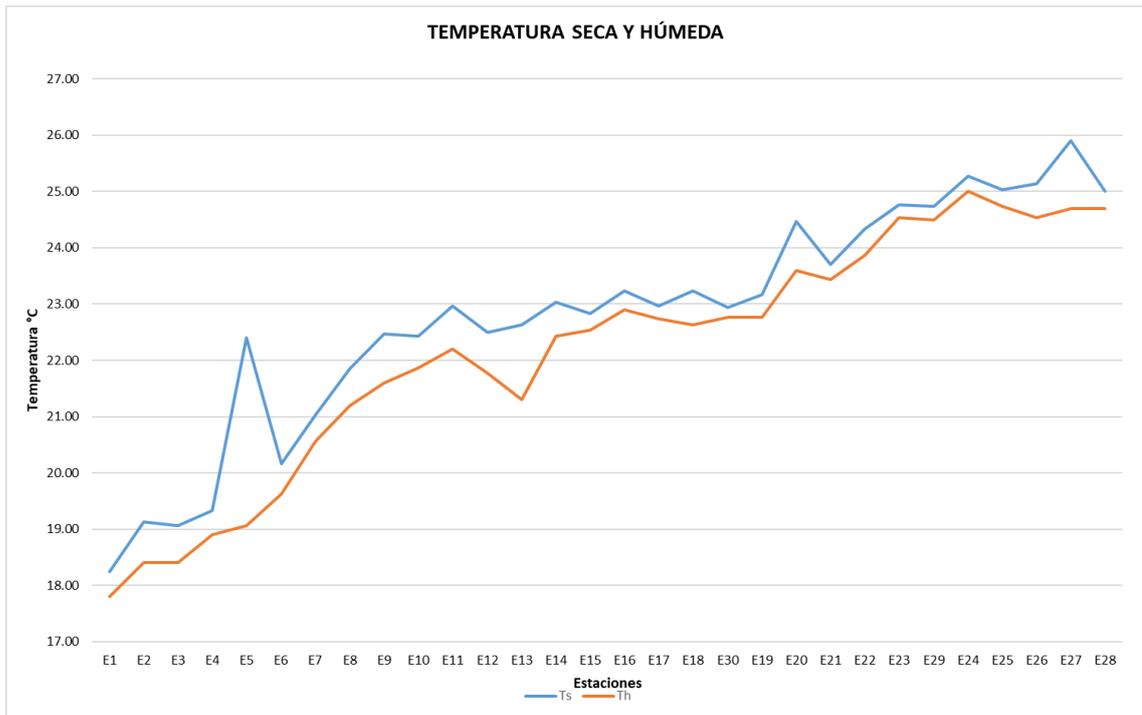


Ilustración 4-4: Temperatura seca y temperatura húmeda

Realizado por: Ortega, George, 2022

4.7. Análisis de humedad

Como se puede apreciar en la ilustración de la humedad, todas las estaciones presentan porcentajes sobre los 90% e inferior al 99%, por tal razón se considerado un ambiente con exceso de humedad.

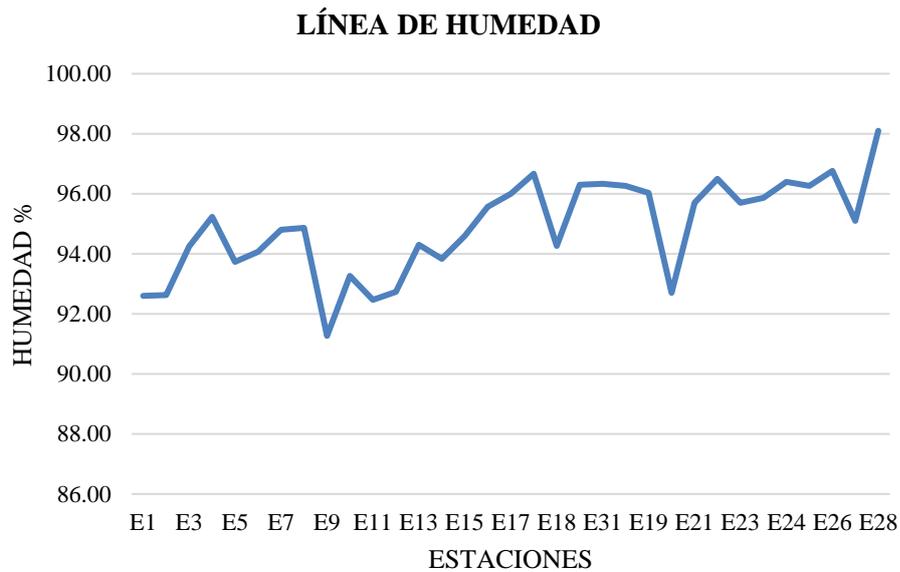


Ilustración 5-4: Humedad en estaciones de control

Realizado por: Ortega, George, 2022

4.8. Ventiladores de la unidad minera

La mina GRUMINTOR 3 cuenta con seis ventiladores para el sistema de ventilación secundario tipo aspirante en la GAL LN PRINCIPAL cerca del frente de exploración, uno para el área de explotación en la GAL 200 y uno más para conexión para reforzar la salida de aire viciado.

Tabla 7-4: Ventiladores empleados para ventilación en zonas de explotación y exploración

TIPO DE SISTEMA	MARCA	MODELO	CAUDAL	ZONA	FUNCIÓN	ESTADO	EFICIENCIA
Secundario	SCHAEFER	VAF8000 A/B	9380	GAL LN PRINCIPAL	Aspirante	Operativo	70 - 80 %
Secundario	SCHAEFER	VAF8000 A/B	9380	GAL LN PRINCIPAL	Aspirante	Operativo	70 - 80 %
Secundario	SCHAEFER	VAF8000 A/B	9380	GAL LN PRINCIPAL	Aspirante	Operativo	70 - 80 %
Secundario	SCHAEFER	VAF8000 A/B	9380	GAL LN PRINCIPAL	Aspirante	Operativo	70 - 80 %
Secundario	SCHAEFER	VAF8000 A/B	9380	GAL LN PRINCIPAL	Aspirante	Operativo	70 - 80 %
Secundario	SCHAEFER	VAF8000 A/B	9380	GAL LN PRINCIPAL	Aspirante	Operativo	70 - 80 %
Secundario	SCHAEFER	VAF8000 A/B	9380	GAL 200	Aspirante	Operativo	70 - 80 %
Principal	SCHAEFER	VAF8000 A/B	9386	CH SLD	Aspirante	Operativo	70 - 80 %

Realizado por: Ortega, George, 2022

4.9. Cálculos de requerimientos de aire

4.9.1. Requerimientos por el número de trabajadores (Q_{Tr})

Este parámetro está basado en el Art. 104 del Reglamento de Seguridad y Salud del Trabajador en el Ámbito Minero, quien establece el caudal requerido por persona según la altura en la que se encuentre laborando.

$$Q_{Tr} = 3 \text{ m}^3/\text{min} * 27 = 81\text{m}^3/\text{min}$$

Por motivos de ingreso de personas no frecuentes se considera de 3 a 5% de contingencia del total del caudal por turno, que en este caso serían 4 m³/min personas más.

$$Q_{Tr} = 4 \text{ m}^3/\text{min} + 81\text{m}^3/\text{min} = 85 \text{ m}^3/\text{min}$$

Tabla 8-4: Requerimientos de aire por persona

Trabajadores	Total/guardia	F m3/min	m3/min
Perforistas	3	3	9
Ayudantes	4	3	12
Op. Locomotora	1	3	3
Wincheros	2	3	6
Buzonero	2	3	6
Bombero	1	3	3
Rielero	1	3	3
Enmaderador	1	3	3
Obreros	12	3	36
Subtotal	27		81
Contingencia 5%	2		4
Total QTr	27		85

Realizado por: Ortega, George, 2022

4.9.2. Caudal requerido por polvo en suspensión (Q_p)

En el caso de este requerimiento viene dado por el área de la galería y la velocidad adecuada para evitar la suspensión de polvo.

$$Q_p = 3.5 \text{ m/s} * 4.4 \text{ m}^2 = 15.4 \text{ m}^3/\text{s} = 924 \text{ m}^3/\text{min}$$

4.9.3. Caudal requerido por producción (Q_{pr})

Para determinar el requerimiento de aire el consumo de madera por producción se emplea la siguiente fórmula, que toma en cuenta las toneladas métricas húmedas por guardia y el factor de producción según el consumo de madera, en este caso, como el consumo de madera es igual o menor al 20% entonces el valor de $u=0.6$.

$$Q_{pr} = 22.5 * 0.6 = 13.5 \text{ m}^3/\text{min}$$

4.9.4. Requerimiento de aire por consumo de explosivo (Q_{Ex})

Como se trata de una mina metálica, el método empírico más aplicado, considerando algunos parámetros la forma para determinar este requerimiento viene dada por la siguiente fórmula.

Para la voladura se emplean emulsiones de la marca famesa que tienen un peso unitario de 0.1736 kg, de la cuales en la voladura se emplean 8 enteros para los abridores y medios para los ayudantes, es decir que en la voladura con más barrenos cargados son de 8 enteros y 20 medios,

siendo un total de 18 emulsiones, que multiplicadas por su masa da como resultado 3.125kg de explosivo tipo emulsión.

$$Q_{Ex} = 16,67 * 3.125 = 59.09 \text{ m}^3/\text{min}$$

4.9.5. Caudal requerido por temperatura (Q_{Te})

Para determinar el caudal requerido por temperatura se debe tener claro que no se debe estar por encima de los 30 °C, ya que es la temperatura máxima a la que puede estar sometido un obrero para realizar sus actividades durante las horas de trabajo, entonces para ello se considera la velocidad mínima de aire, el área promedio de las galerías y el número de niveles con temperaturas mayor a 23 °C emplea la siguiente fórmula (Sergio & Gallardo, 2008).

$$Q_{Te} = 4.4 * 30 * 1 = 132 \text{ m}^3/\text{min}$$

4.9.6. Requerimiento por fugas (Q_{Fu})

Para determinar el requerimiento de aire por fugas, se obtiene en base al resultado de la sumatoria de los requerimientos por el número de trabajadores (Q_{Tr}), polvo en suspensión (Q_p), consumo de madera por producción (Q_{Pr}), consumo de explosivo (Q_{Ex}) y temperatura (Q_{Te}), el mismo que equivale al 15% de la sumatoria total.

Tabla 9-4: Requerimiento de caudal de aire por fugas

REQUERIMIENTO	CAUDAL m ³ /min	CAUDAL CFM
Q_{Tr}	85	3001.75
Q_p	924	32630.75
Q_p	13.5	476.75
Q_{Ex}	59.09	2086.74
Q_{Te}	132	4661.54
Q_{T1}	1213.59	42857.53
Q_{Fu}	182.04	6428.63

Realizado por: Ortega, George, 2022

4.9.7. *Requerimiento total de aire (Q_{To})*

Para determinar el caudal de requerimiento total se realiza una suma entre el requerimiento por fugas (Q_{Fu}) y la sumatoria de todos los requerimientos (Q_{T_1}).

$$Q_{To} = Q_{T_1} + Q_{Fu} = 1213.59 + 182.04 = 1395.63 \text{ m}^3/\text{min} = 49286.16 \text{ CFM}$$

Dando como resultado 1395.04 m³/min o 49286.16 CFM en cuanto a los requerimientos para el sistema de ventilación de la mina GRUMINTOR 3.

4.9.8. *Cobertura actual del sistema de ventilación*

Tabla 10-4: Balance y cobertura de aire

CAUDAL	m ³ /min	CFM
Total aire requerido	1395.63	49286.16
Total ingreso de aire	379.35	13396.45
Total salida de aire	301.46	10646.10
Cobertura (%)		21.6

Realizado por: Ortega, George, 2022.

4.10. **Cálculo del factor de fricción**

Tabla 11-4: Cálculo de factor de fricción y pérdida de presión estática

ESTACIÓN	CÓDIGO DE LA LABOR	NOMBRE DE LA LABOR	ANCHO	ALTURA	LONGITUD	ÁREA (m2)	PERÍMETRO CONDUCTO	DIÁMETRO HIDRÁULICO	FACTOR DE FRICCIÓN "K"	ÁREA (m2)	PERÍMETRO r	LONGITUD EQUIVALENTE	RESISTENCIA DEL CONDUCTO	PERDIDA DE PRESIÓN ESTÁTICA
E1	L1	BCM LCMR	1.67	1.88	3.22	3.14	7.10	1.77	1.00389E-08	33.79	23.29	0.7705	1.23055E-11	6.36472E-08
E2	L3	BM PAT	1.37	2.06	3.65	2.82	6.86	1.65	1.04977E-08	30.38	22.51	0.6855	1.93825E-11	1.04751E-07
	L4	BM PAT	2.30	2.33	53.31	4.47	8.44	2.12	9.01284E-09	48.14	27.69	1.0284	7.52458E-11	4.06658E-07
E3	L5	BM CAMP	1.74	2.06	117.30	2.88	6.92	1.66	1.04306E-08	30.96	22.70	0.6970	5.90584E-10	1.32276E-06
E4	L2	BCM LCMR	3.07	2.36	81.75	6.05	9.96	2.43	8.33661E-09	65.16	32.68	1.2752	5.07937E-11	6.50993E-07
E5	L6	GAL	3.07	2.35	32.94	5.53	9.94	2.23	8.76257E-09	59.54	32.61	1.1108	2.81423E-11	3.60683E-07
	L7	GAL	2.08	1.98	70.46	3.44	7.41	1.86	9.73936E-09	37.07	24.31	0.8348	2.0658E-10	2.64761E-06
	L8	GAL L PRI	3.07	2.35	52.61	5.53	9.94	2.23	8.76257E-09	59.54	32.61	1.1108	4.49491E-11	5.76086E-07
E6	L9	GAL L PRI	2.33	2.29	287.88	4.72	8.42	2.23	8.76257E-09	50.85	27.62	1.1199	3.34472E-10	4.28673E-06
E7	L9	GAL L PRI	2.33	2.29	287.88	4.72	8.42	2.23	8.76257E-09	50.85	27.62	1.1199	3.34472E-10	4.28673E-06
	L10	GAL 003	2.51	2.20	34.55	5.42	8.59	2.52	8.1684E-09	58.30	28.18	1.3502	2.53279E-11	3.24613E-07
E8	L11	GAL L PRI	2.20	2.65	126.51	4.75	8.84	2.15	8.94076E-09	51.13	29.00	1.0512	1.54877E-10	1.98497E-06
E9	L12	100 SEC LA UN	2.19	2.76	27.46	5.16	9.02	2.29	8.62228E-09	55.58	29.59	1.1613	2.57509E-11	3.30034E-07
	L13	100 SEC LA UN	2.13	1.92	13.53	3.56	7.40	1.92	9.54258E-09	38.30	24.28	0.8815	3.51988E-11	4.51123E-07
	L14	100 SEC LA UN	2.34	1.66	14.00	3.19	7.35	1.73	1.01641E-08	34.29	24.11	0.7458	5.37074E-11	6.88336E-07
	L15	100 SEC LA UN	2.48	2.33	33.90	4.28	8.78	1.95	9.47081E-09	46.03	28.81	0.8995	5.98356E-11	7.66878E-07
E10	L16	XC 76	2.56	2.96	54.03	6.51	10.04	2.59	8.04518E-09	70.05	32.94	1.4093	2.6283E-11	3.36854E-07
	L17	XC 76	2.42	2.66	29.18	5.78	9.24	2.50	8.2021E-09	62.24	30.31	1.3346	1.8982E-11	2.43281E-07
	L18	XC 76	2.14	2.44	20.37	4.77	8.33	2.29	8.62415E-09	51.31	27.33	1.1606	2.24276E-11	2.87441E-07
E11	L19	XC 76	2.35	2.22	201.10	4.81	8.34	2.31	8.58559E-09	51.78	27.36	1.1751	2.14743E-10	2.75223E-06
E12	L20	GAL L PRI	2.55	2.59	56.24	5.34	9.37	2.28	8.64732E-09	57.44	30.74	1.1520	4.97702E-11	6.37875E-07
	L21	GAL 005	2.01	1.82	92.85	2.96	6.98	1.69	1.03082E-08	31.83	22.90	0.7188	4.28982E-10	5.49801E-06
	L22	GAL L PRI	2.06	2.53	40.26	4.42	8.34	2.12	9.01295E-09	47.57	27.36	1.0284	5.81953E-11	7.45855E-07
E13	L23	GAL L PRI	2.22	2.43	131.62	4.58	8.48	2.16	8.91839E-09	49.26	27.82	1.0584	1.72415E-10	2.20975E-06
	L24	GAL 006	2.03	2.31	21.54	4.09	7.90	2.07	9.1412E-09	43.98	25.92	0.9896	3.78543E-11	4.85157E-07
E14	L25	GAL L PRI	2.46	2.66	60.74	5.94	9.32	2.55	8.11801E-09	63.97	30.58	1.3739	3.63498E-11	4.65874E-07
	L26	GAL L PRI	2.39	2.55	35.87	5.29	8.99	2.35	8.4874E-09	56.96	29.49	1.2131	3.06563E-11	3.92904E-07
E15	L27	GAL L PRI	2.53	2.36	90.06	5.26	8.92	2.36	8.47995E-09	56.61	29.27	1.2161	7.77476E-11	9.96446E-07
E16	L28	GAL 005	2.57	2.48	44.46	5.43	9.21	2.36	8.47547E-09	58.50	30.22	1.2178	3.58868E-11	4.59941E-07
E17	L29	GAL 200	2.60	2.29	124.20	5.31	8.93	2.38	8.44255E-09	57.12	29.30	1.2311	1.04026E-10	1.33324E-06
E18	L30	GAL 200	2.76	2.37	65.21	5.73	9.38	2.45	8.30935E-09	61.73	30.77	1.2870	4.47368E-11	5.73365E-07
E29	L31	EA CAPRICHOS	2.03	2.21	102.17	3.86	7.72	2.00	9.32458E-09	41.55	25.33	0.9379	2.12288E-10	2.72077E-06
E19	L32	GAL L PRI	2.39	2.48	134.17	5.18	8.88	2.33	8.5312E-09	55.75	29.13	1.1959	1.21414E-10	1.55609E-06
E20	L33	GAL L PRI	2.67	2.84	117.83	6.59	10.03	2.63	7.98863E-09	70.88	32.91	1.4376	5.487E-11	7.03237E-07
	L34	GAL 012	2.25	2.37	39.85	4.62	8.42	2.20	8.8321E-09	49.74	27.62	1.0870	4.98439E-11	6.3882E-07
	L35	GAL 011	2.40	2.21	74.60	4.51	8.43	2.14	8.95768E-09	48.60	27.66	1.0458	1.01611E-10	1.30229E-06
E21	L36	GAL L PRI	2.58	2.58	168.87	5.89	9.41	2.50	8.20502E-09	63.35	30.87	1.3333	1.06169E-10	1.3607E-06
	L37	GAL 600	2.22	2.39	30.58	4.69	8.40	2.23	8.74489E-09	50.49	27.56	1.1170	3.61251E-11	4.62994E-07
E22	L38	GAL L PRI	2.30	2.62	173.50	5.42	8.96	2.42	8.35564E-09	58.38	29.40	1.2671	1.35154E-10	1.73219E-06
E23	L39	GAL L PRI	2.49	2.57	94.77	5.65	9.22	2.45	8.29647E-09	60.84	30.25	1.2925	6.66308E-11	8.53968E-07
	L40	GALERIA 700	2.38	2.25	94.96	4.20	8.45	1.99	9.35775E-09	45.20	27.72	0.9290	1.68278E-10	2.15672E-06
E24	L41	GAL L PRI	2.35	2.50	184.39	5.12	8.84	2.32	8.56667E-09	55.10	29.00	1.1823	1.72836E-10	2.21514E-06
E25	L42	GAL L PRI	2.23	2.50	159.02	4.85	8.61	2.25	8.70132E-09	52.21	28.25	1.1324	1.73297E-10	2.22104E-06
E26	L43	GAL L PRI	2.30	2.48	166.99	4.96	8.71	2.23	8.76257E-09	53.42	28.58	1.1373	1.73101E-10	2.21854E-06
E27	L43	GAL L PRI	2.30	2.48	166.99	4.96	8.71	2.23	8.76257E-09	53.42	28.58	1.1373	1.73101E-10	2.21854E-06
E28	L44	GAL L PRI	2.30	2.33	61.33	4.47	8.44	2.12	9.01284E-09	48.14	27.69	1.0284	8.65539E-11	1.10931E-06

Realizado por: Ortega, George, 2022

4.11. Cálculo de la densidad de aire

Para determinar la densidad del aire se calcula algebraicamente mediante fórmulas con información recopilada a pocos metros de las entradas de aire de las tres entradas de aire fresco, el cual promediado nos da los siguientes datos.

$$T_s = 18.88 \text{ }^\circ\text{C} = 292.03 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$T_h = 18.42 \text{ }^\circ\text{C} = 291.57 \text{ }^\circ\text{K} \quad P_{\text{atm}} = 76145.3 \text{ Pa o } 0.761 \text{ bar}$$

En primer instante se determinó la presión de vapor saturado y la presión de vapor

$$P_{\text{sv}} = 6.112 * e^{\left(\frac{17.502 * T_h}{240.97 + T_h}\right)}$$

$$P_{\text{sv}} = 6.112 * e^{\left(\frac{17.502 * 291.57}{240.97 + 291.57}\right)} = 88675.77 \text{ Pa}$$

$$P_{\text{vapor}} = \frac{P_{\text{vs}} - 9(P_{\text{atm}} - P_{\text{vs}})(T_s - T_h)}{13792 - (11.7 * T_h)}$$

$$= \frac{88675.77 - 9(76145.3 - 88675.77)(292.03 - 291.57)}{13792 - (11.7 * 291.57)} = 13.539 \text{ Pa}$$

Posteriormente se calculó la densidad del aire seco y densidad de vapor

$$\rho_{\text{aire seco}} = \frac{(P_{\text{atm}} - P_{\text{vapor}})}{287.1 * T_s} = \frac{76145.3 - 13.539}{287.1 * 292.03} = 0.908 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{vapor}} = \frac{P_{\text{vapor}}}{461.5 * T_h} = \frac{13.539}{461.5 * 291.57} = 0.0001 \text{ kg/m}^3$$

Finalmente, se consiguió el valor de la densidad de aire húmedo

$$\rho_{\text{aire húmedo}} = \rho_{\text{aire seco}} + \rho_{\text{vapor}} = 0.9081 \text{ kg/m}^3$$

4.12. Modelamiento actual del sistema de ventilación

4.12.1. Tratamiento de información topográfica previo a simulación

Para poder realizar la simulación del sistema de ventilación en el Software Ventsim se procedió a hacer uso de la información topográfica actualizada de las líneas principales de las labores presentes en la mina, las líneas son trabajadas en AutoCAD en diferentes capas para cada labor, una vez hecha alguna corrección o modificación se procede a guardar como archivo DFX con el propósito de poder importar al VentSim.

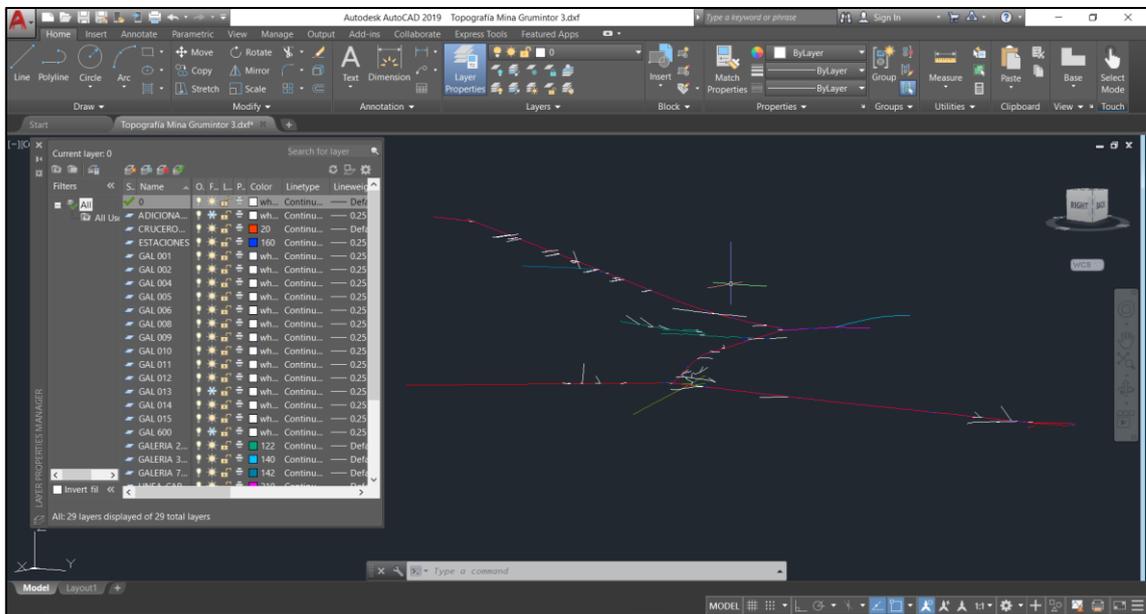


Ilustración 6-4: Líneas ejes del sistema de ventilación

Realizado por: Ortega, George, 2022

4.12.2. Simulación en software Ventsim

4.12.2.1. Configuraciones físicas y ambientales

El archivo DXF de las líneas ejes de las labores al ser importadas al VentSim se le transformadas a ductos de ventilación en base a su sección y forma de la labor, también se trabajó por capas las labores para dar las modificaciones y condiciones respectivas de la mejor manera. Una vez finalizado los ductos, se procede a ingresar las correcciones ambientales en la configuración del Ventsim con el fin de plantear el escenario ambiental y parámetros físicos en el que se encuentra los accesos a mina por donde ingresa la ventilación natural.

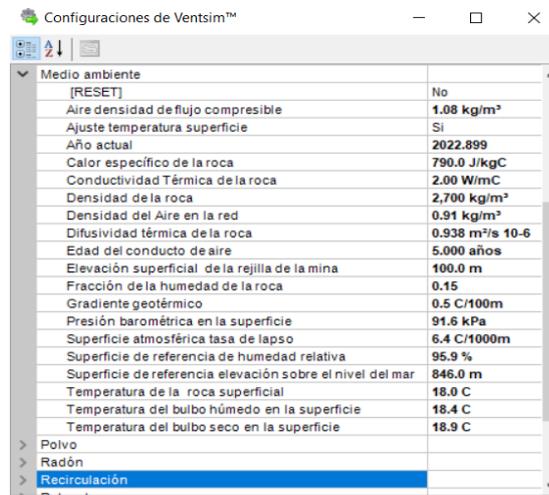


Ilustración 7-4: Configuraciones físicas y ambientales

Realizado por: Ortega, George, 2023

4.12.2.2. Simulación actual del sistema ventilación natural

El sistema de ventilación natural de Grumintor 3 está establecido con tres ingresos de aire que forman el sistema de ventilación los cuales tienen velocidades y caudales promedios respectivamente, tales como: BM LCMR 136.28 m³/min o 4812.62 CFM, BM PAT 182.80 m³/min o 6455.68 CFM, BM VENT 60.26 m³/min o 2128.15 CFM. Dando un total de 379 m³/min o 13396.45 CFM.

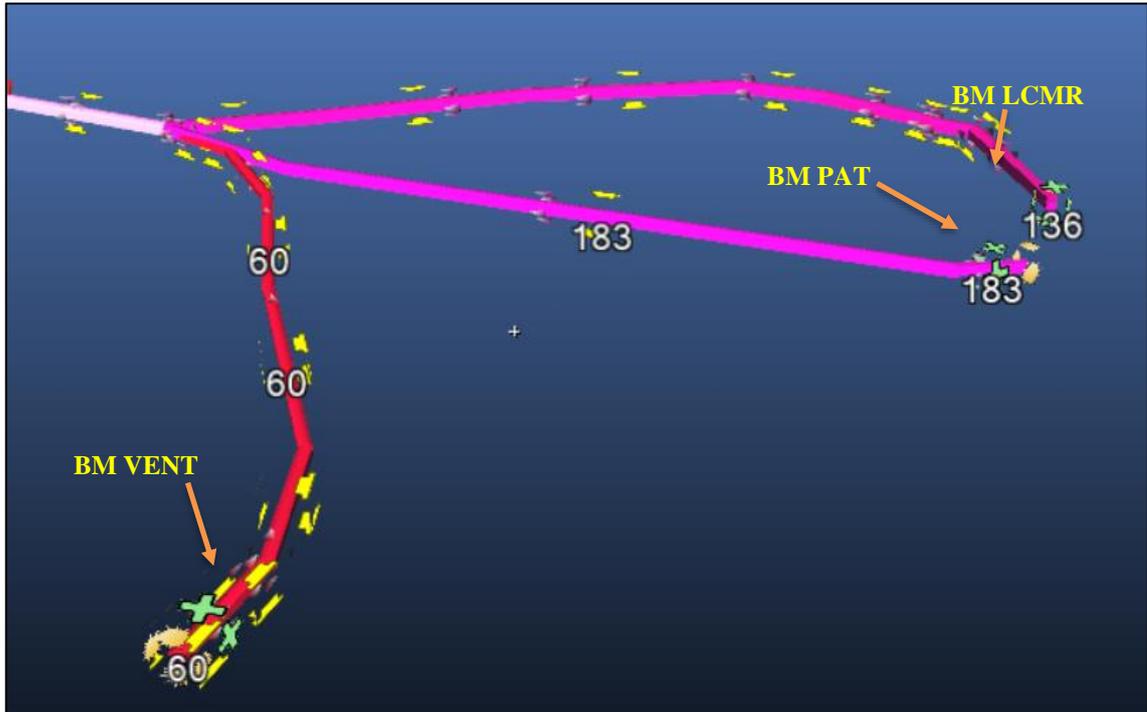


Ilustración 8-4: Caudales de ingreso

Realizado por: Ortega, George, 2023

Según los resultados obtenidos en base a los datos de las estaciones de salida se obtuvo los caudales de 162.62 m³/min o 5742.87 CFM para CH SLD E32 y para 138.84 m³/min o 4903.09 CFM para CH SLD E31, dando la suma de 301.46 m³/min o 10646.1 CFM y como resultado una variación de ingreso y salidas de 77.88 m³/min o 2738.29 CFM igual al 20.5%.

Tabla 12-4: Caudales de salida natural según datos de estaciones

Estación	Ubicación		Sección Área (m ²)	Velocidad		Caudal	
	Nv	Labor		m/s	m/min	m ³ /min	CFM
E1	N0	CH SLD	6.24	0.37	22.25	138.84	4903.09
E2	N0	CH SLD	5.28	0.51	30.8	162.62	5743.01
					TOTAL	301.46	10646.1

Nota: CH (Chimenea), SLD (Salida)

Realizado por: Ortega, George, 2023

Mientras que los caudales de salida que brinda la simulación son de 163 m³/min o 5756.3 CFM para CH SLD E32 y 150 m³/min o 5297.2 CFM para CH SLD E31, para dar un caudal total de salida igual a 313 m³/min o 11053.49 CFM, dando como resultado una variación de ingreso y salidas de 65.91 m³/min o 2327.76 CFM igual a 17.38%.

Tabla 13-4: Caudales de salida natural en Ventsim

Estación	Ubicación	Sección	Velocidad		Caudal	
	Nv	Área (m2)	m/s	m/min	m3/min	CFM
E1	N0	6.24	0.4	24.1	150	5310.76
E2	N0	5.28	0.51	30.88	163	5757.93
				TOTAL	313	11068.7

Realizado por: Ortega, George, 2022

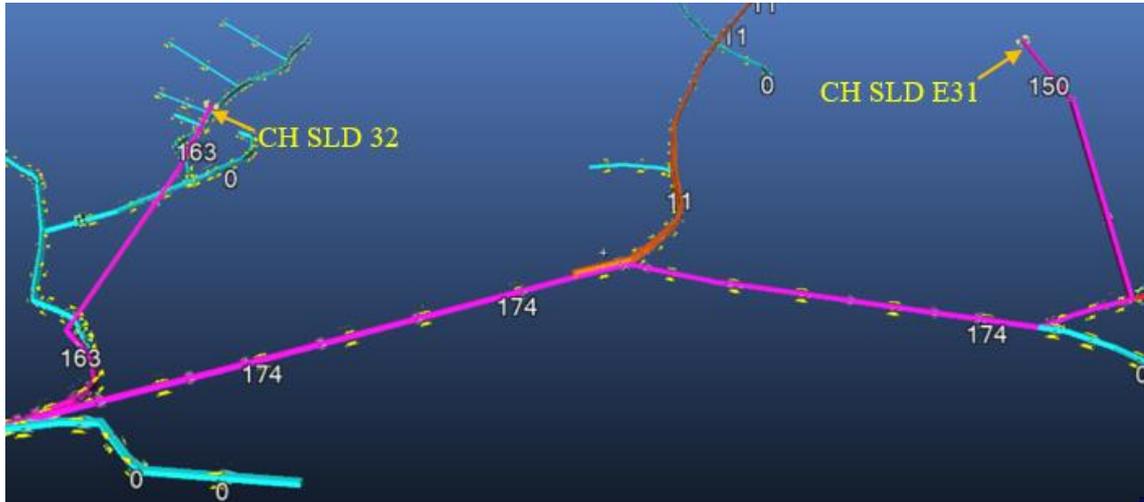


Ilustración 9-4: Caudales de salida

Realizado por: Ortega, George, 2023

4.12.2.3. Comparativa de caudales de salida para ventilación actual según datos de estaciones y simulación en VentSim

Los caudales de salida que se muestran en la gráfica son los que se presentan de forma natural, es decir que no hay la influencia de un sistema de ventilación secundario que influya en los flujos de aire que salen por las chimeneas.

La gráfica representa de forma breve el comportamiento ideal de una simulación de un flujo de aire a lo largo de galerías y datos recopilados en este caso por las estaciones de salida, dando como resultado la representación de la variación de caudales.

Tomando en cuenta los fundamentos teóricos y leyes en las que se basa un software para recrear los acontecimientos presentes en una red de ventilación en una mina subterránea, por ello puede llegar a encontrarse con significativas variaciones con respecto a la información real tomada en campo, sin hacer a un lado el margen de error de los instrumentos y personal humano para la recopilación de la información.

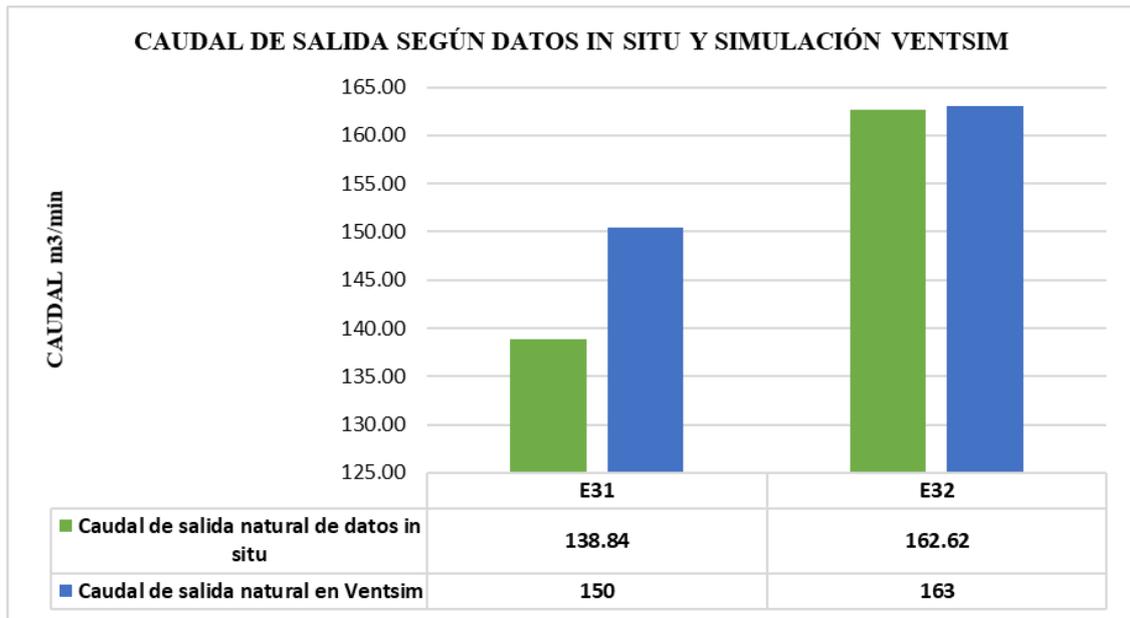


Ilustración 10-4: Caudales de ventilación natural según datos in situ y simulación Ventsim

Realizado por: Ortega, George, 2023

4.12.2.4. Caudal total de salida con datos de estaciones

Tomando como referencia los datos recopilados en las estaciones se evidencia que según las leyes de Kirchoff están deben ser igual a cero, sin embargo, los datos recopilados in situ nos indican que para igualar entradas y salidas queda 3.54 m³/min o 124.85 CFM, cabe recalcar que en este caso se hace la suma de todas las salidas por chimeneas y pérdidas por galerías que conectan otros frentes que están fuera del área minera.

Tabla 14-4: Caudal total de salida según datos de estaciones

Estación	UBICACIÓN		SECCIÓN Área (m ²)	SENTIDO DE CUDAL	VELOCIDAD		CAUDAL	
	Nv	Labor			m/s	m/min	m ³ /min	CFM
E1	N0	BM LCMR	3.14	Ingreso	0.72	43.41	136	4812.62
E2	N0	BM PAT	2.82	Ingreso	0.52	31.09	183	6455.68
E3	N0	BM VENT	2.88	Ingreso	0.35	20.74	60	2128.15
E11	N0	XC 76	7.10	Salida	0.10	6.00	43	1504.40
E31	N0	CH SLD	6.24	Salida	0.37	22.25	139	4903.09
E32	N0	CH SLD	5.28	Salida	0.51	30.8	163	5743.01
E33	N0	GAL 300	3.70	Salida	0.14	8.58	32	1121.10
Total							3.54	124.85

Nota: BM (Bocamina), LCMR (Locomotora), PAT (Peatonal), VENT (Ventilación), XC (Crucero), CH SLD (Chimenea Salida)

Realizado por: Ortega, George, 2023

4.12.2.5. Caudal total con simulación natural Ventsim

Al establecer los caudales de entrada en el software para la simulación y todos los condicionantes presentes en la mina y los parámetros físicos obtenidos se puede observar que con relación a los fundamentos y leyes que aplica el software se logra cumplir con la primera ley de Kirchoff en la cual establece que lo que entra es igual a lo que sale dejando una igual a cero.

Considerando que un software en este caso Ventsim funciona en base a sus principios o leyes los cuales siempre van a establecer como un sistema ideal para una simulación en redes de ventilación.

Tabla 15-4: Caudal total según simulación natural Ventsim

Estación	UBICACIÓN		SECCIÓN Área (m2)	SENTIDO DE CUDAL	VELOCIDAD		CAUDAL	
	Nv	Labor			m/s	m/min	m3/min	CFM
E1	N0	BM LCMR	3.14	Ingreso	0.7	43	136	4813
E2	N0	BM PAT	2.82	Ingreso	0.5	31	183	6456
E3	N0	BM VENT	2.88	Ingreso	0.3	21	60	2128
E11	N0	XC 76	7.10	Salida	0.1	6	43	1504
E31	N0	CH SLD	6.24	Salida	0.4	24	150	5311
E32	N0	CH SLD	5.28	Salida	0.5	31	163	5739
E33	N0	GAL 300	3.70	Salida	0.1	6	24	830
Total ETRD							379	13385
Total SLD							379	13385

Nota: BM (Bocamina), LCMR (Locomotora), PAT (Peatonal), VENT (Ventilación), XC (Crucero), CH SLD (Chimenea Salida)

Realizado por: Ortega, George, 2023

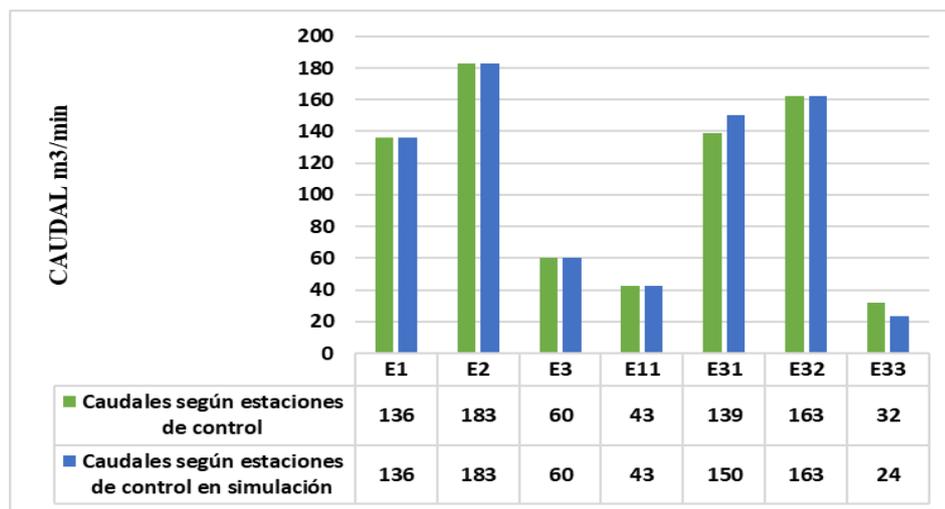


Ilustración 11-4: Caudales de salida por estaciones de control y en simulación

Realizado por: Ortega, George, 2023

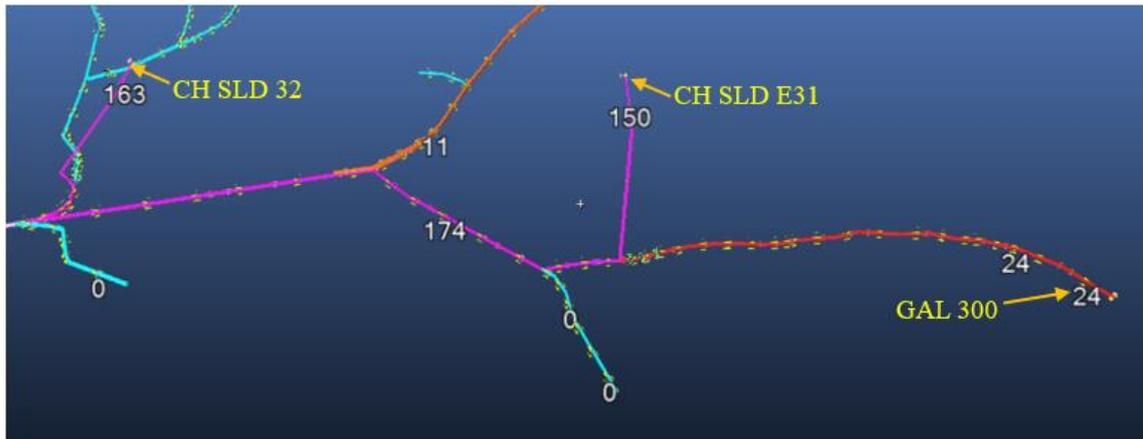


Ilustración 12-4: Caudales de salida en Chimeneas y Galería 300

Realizado por: Ortega, George, 2023

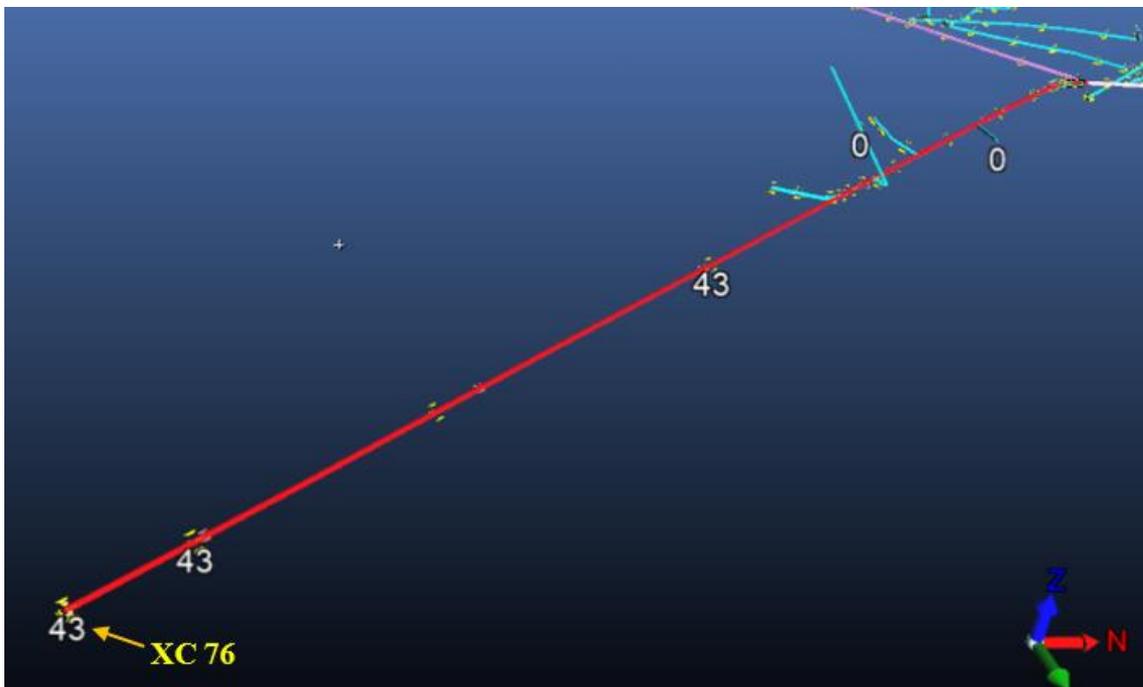


Ilustración 13-4: Caudal de salida CRUCERO 76

Realizado por: Ortega, George, 2023

4.12.2.6. *Comparativa de velocidades según la información de estaciones y la simulación en Ventsim*

En función de las velocidades en las diferentes estaciones establecidas se puede entender que parte de las labores de la mina están con las velocidades requeridas según la normativa vigente aplicada en minería subterránea que permite una adecuada ventilación para dar seguridad y salud a los colaboradores, mientras que otras labores no presentan la adecuada ventilación al ser de tipo natural, debido a que las velocidades están por debajo de lo permisible, siendo el caso para los

dos frentes con actividades de explotación en la GAL 200 y en la LÍNEA PRINCIPAL DE EXPLORACIÓN, por lo tanto los caudales por minuto no son los suficientes para un ambiente adecuado para realizar actividades mineras por largos periodos de tiempo.

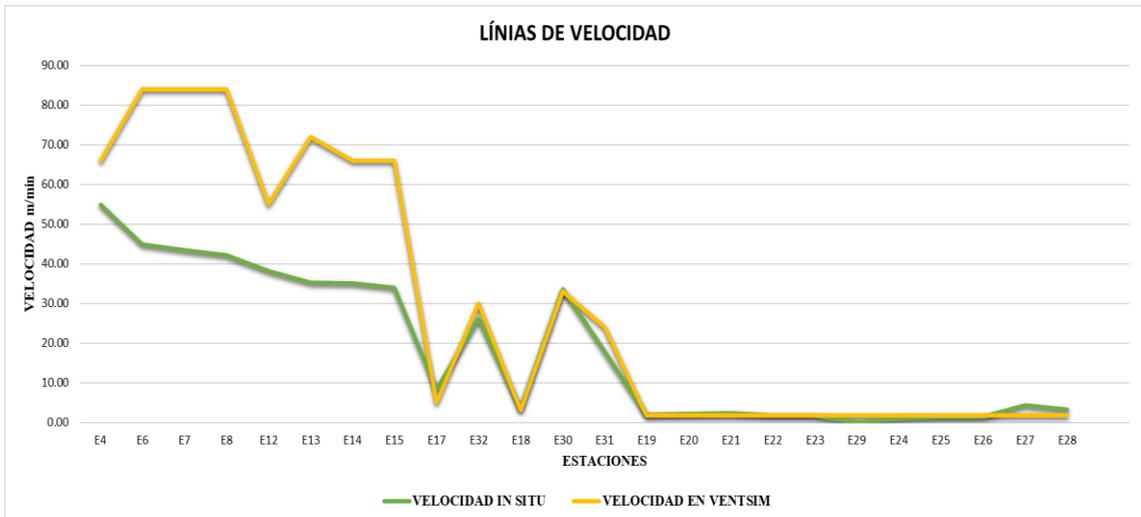


Ilustración 14-4: Líneas de velocidad con información in situ e información de simulación

Realizado por: Ortega, George, 2023

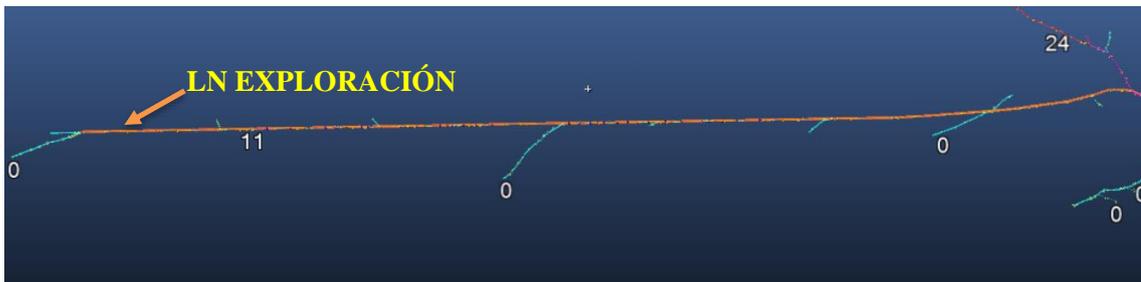


Ilustración 15-4: Caudal para LÍNEA DE EXPLORACIÓN

Realizado por: Ortega, George, 2023

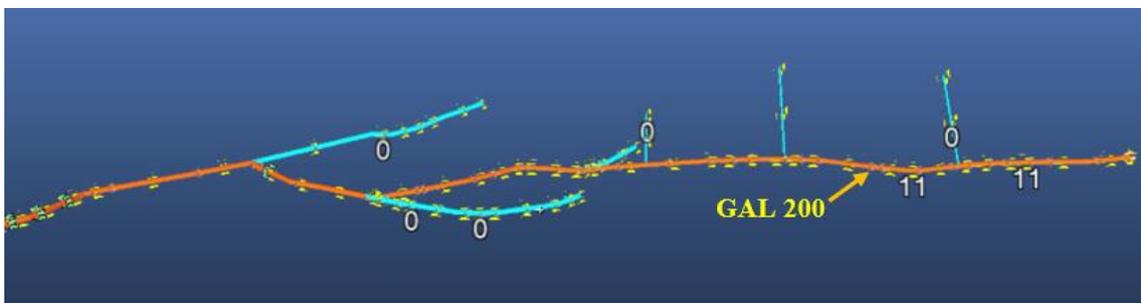


Ilustración 16-4: Caudal en labores de explotación para GALERÍA 200

Realizado por: Ortega, George, 2023.

4.12.2.7. Simulación del sistema actual de ventilación con sistema secundario aspirante

Al activar el sistema secundario de ventilación de tipo aspirante en la zona de LÍNEA DE EXPLORACIÓN se puede observar que se crea una recirculación del flujo de aire haciendo que esta llegue a generar un caudal de 294 m³/min o 10382.5 CFM, para lo cual se puede ver incrementado el caudal en la LÍNEA PRINCIPAL a 199 m³/min o 7027.6 CFM, reduciendo así la salida por la CH SLD E32 a 130 m³/min o 4590.4 CFM, por lo tanto, se genera un incremento en CH SLD E31 de 198 m³/min o 6992.3 CFM, siendo influenciado por un ventilador axial que se encuentra a pocos metros del pie de la chimenea, causando así que el caudal que va en dirección por la GAL 300 se vea reducida casi por completo.

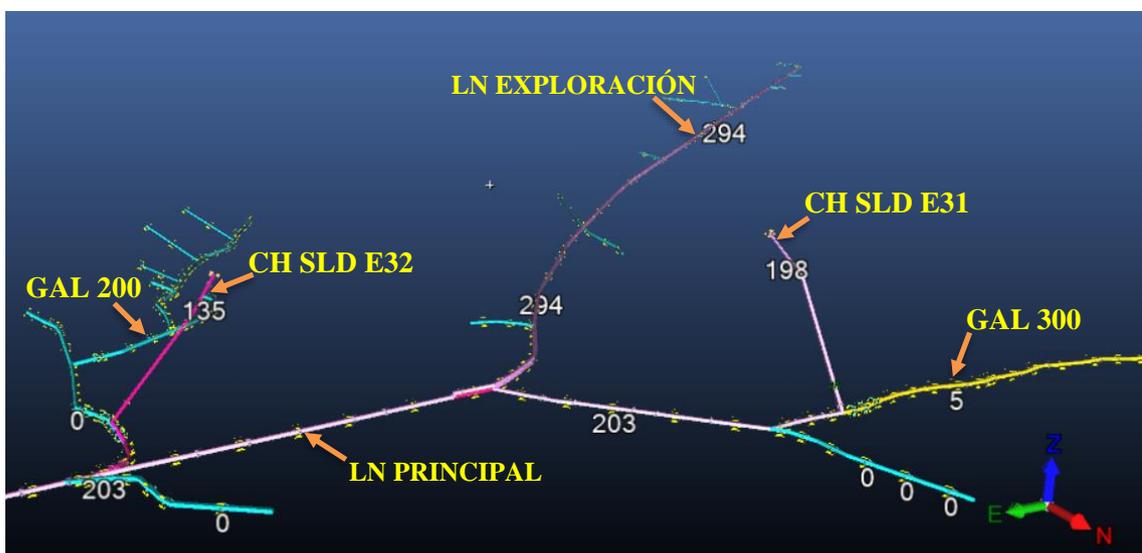


Ilustración 17-4: Variación de caudales con funcionamiento de sistema secundario tipo aspirante
Realizado por: Ortega, George, 2023

Al realizar una representación gráfica de la información de los caudales de salida cuando se ejecuta el sistema de ventilación secundario de tipo aspirante en la zona de la línea de exploración se puede evidenciar que en la chimenea de salida E32 disminuye en un 17.17% el caudal de salida, mientras que en la chimenea de salida E31 incrementa un 24.24% el caudal de salida.

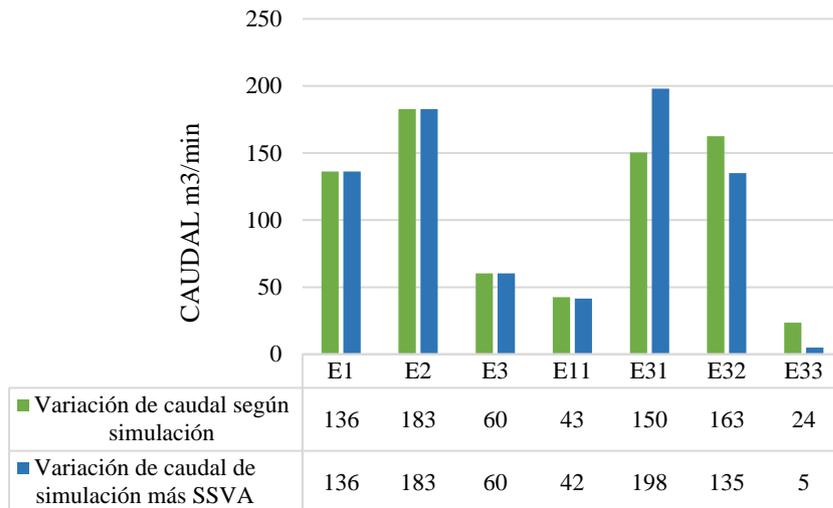


Ilustración 18-4: Variación de caudales de salida con sistema secundario de tipo aspirante

Realizado por: Ortega, George, 2023

La ilustración representa la ubicación de los ventiladores presentes en el sistema secundario de tipo aspirante, el cual está contemplado de seis ventiladores en serie, en donde uno de ellos se encuentra sin conexión a una manga, mientras que los otros cinco si la tienen manga, sin embargo, las mangas no están conectados entre sí.

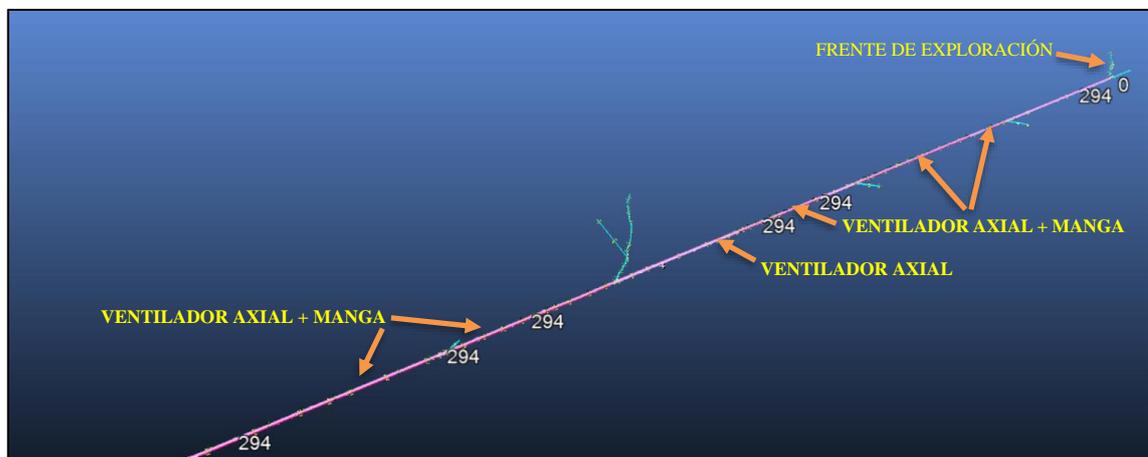


Ilustración 19-4: Ventiladores del sistema secundario de tipo aspirante

Realizado por: Ortega, George, 2023.

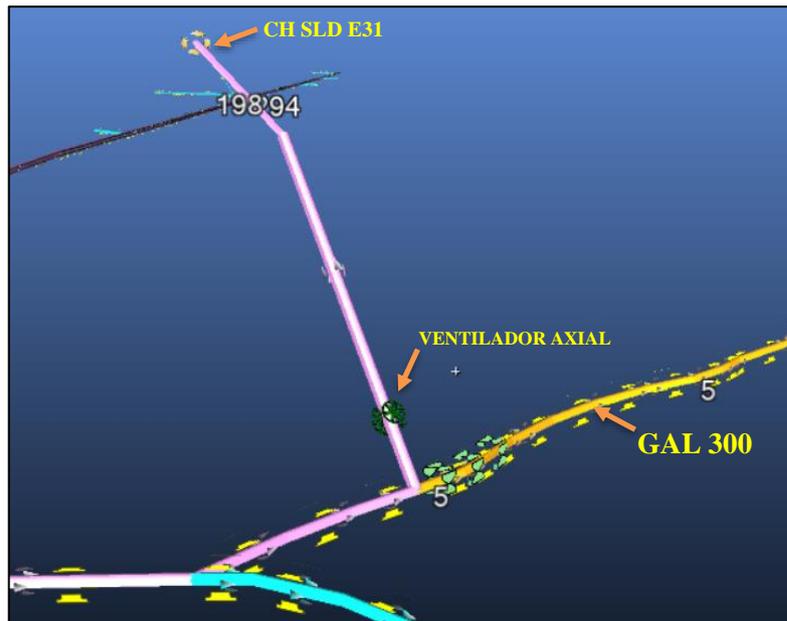


Ilustración 20-4: Ventilador en chimenea de salida

Realizado por: Ortega, George, 2023

4.12.2.8. Simulación del sistema de ventilación adecuado para los requerimientos

Como primera alternativa para cumplir con el requerimiento total de caudal de aire se procede a ingresar un ventilador auxiliar grande que pueda suplir las carencias de caudal, este incluye la suma de los caudales fijos de las otras entras que no tienen ventilador.

Las entradas de boca mina de ventilación (BM VENT) y de la locomotora (BM LCMR) seguirán con los caudales fijos de manera natural como están establecidos actualmente. El ventilador auxiliar grande está colocado en la galería de la boca mina peatonal (BM PAT), el cual esta modificado para trabajar con 64.5 rpm con fin de ingresar el caudal necesario, en base a ello se tiene que el ventilador trabajara al 71% de eficiencia para este caso.

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente el requerimiento establece un caudal de 1365 m³/min o 49286.16 CFM, lo cual el ventilador auxiliar grande contribuye con 1200 m³/min o 43378 CFM, por otro lado, el ingreso de 60 m³/min o 2128 CFM en la BM VENT y 136 m³/min o 4812 CFM por la BM LCMR, dando así la suma de caudal para suplir el requerimiento. Esta alternativa muy aparte de contribuir al requerimiento de caudal también es el promotor para la variación de caudales tanto en pérdidas como en salidas, ya sea aumentando o disminuyendo en algunos casos.

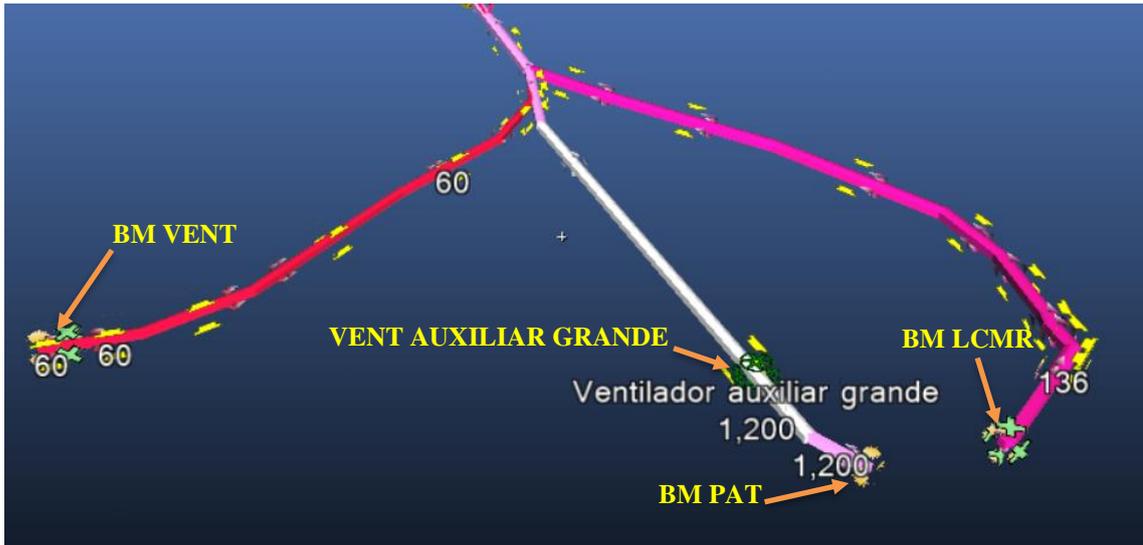


Ilustración 21-4: Ingreso de caudales fijos y un ventilador

Realizado por: Ortega, George, 2023

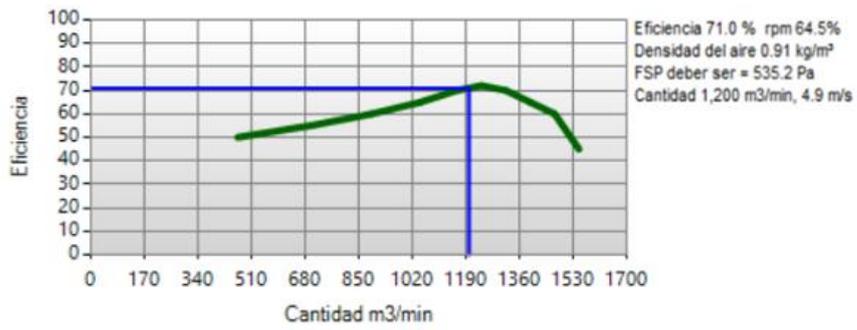


Ilustración 22-4: Ingreso de caudales fijos y un ventilador

Realizado por: Ortega, George, 2023

En la ilustración 23-4 se puede evidenciar el incremento del caudal en el cruceo 76 siendo la primera pérdida de caudal en el sistema de ventilación

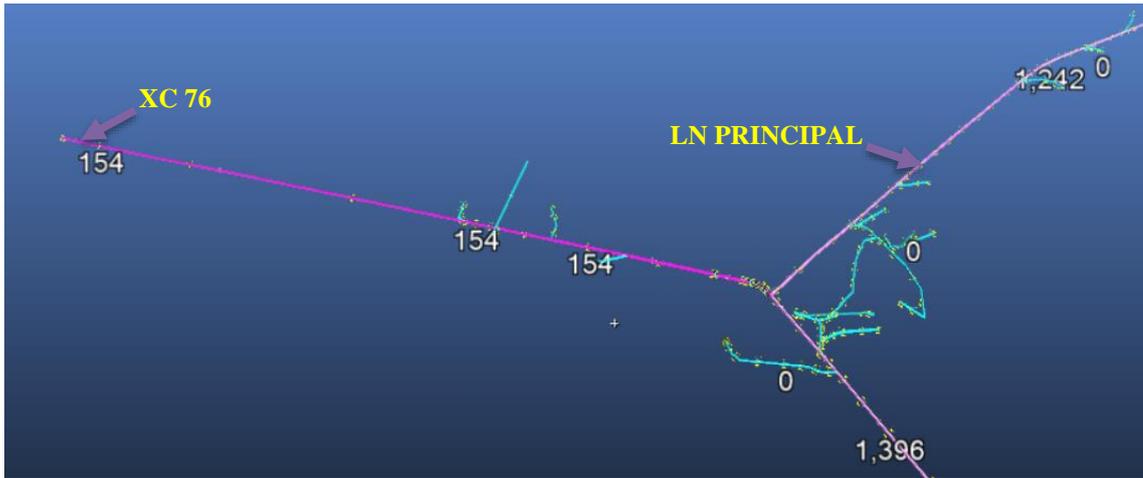


Ilustración 23-4: Ingreso de caudales fijos y un ventilador

Realizado por: Ortega, George, 2023

4.12.2.9. *Caudal total de salida alternativa*

Concertando los caudales salientes del sistema actual de ventilación natural con la alternativa para cumplir con las velocidades adecuadas para la ventilación, se tiene una variación muy evidente debido al incremento de caudal de entrada, siendo un escenario en el cual el sistema de ventilación secundario de tipo aspirante no se encuentra activo, por lo tanto, aquello se podría considerar como el sistema durante las horas donde se realicen las actividades mineras.

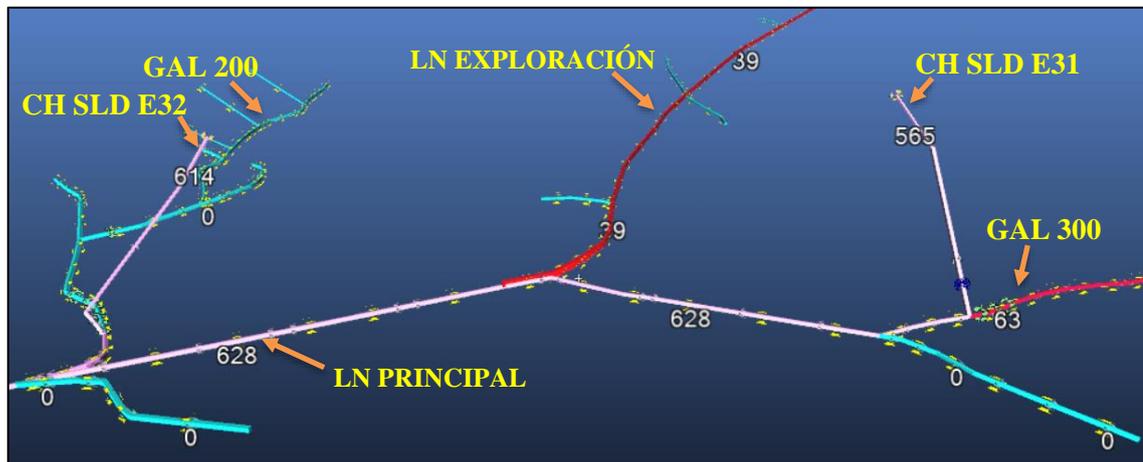


Ilustración 24-4: Salida de caudales

Realizado por: Ortega, George, 2023

4.12.2.10. *Comparativa de caudales actuales con alternativa*

El incremento de caudales de ingreso en relación con el actual es muy evidente, por lo cual en base a la modificación al sistema actual de ventilación se cumple con el requerimiento necesario para las operaciones mineras tanto en caudales y velocidades en gran medida.

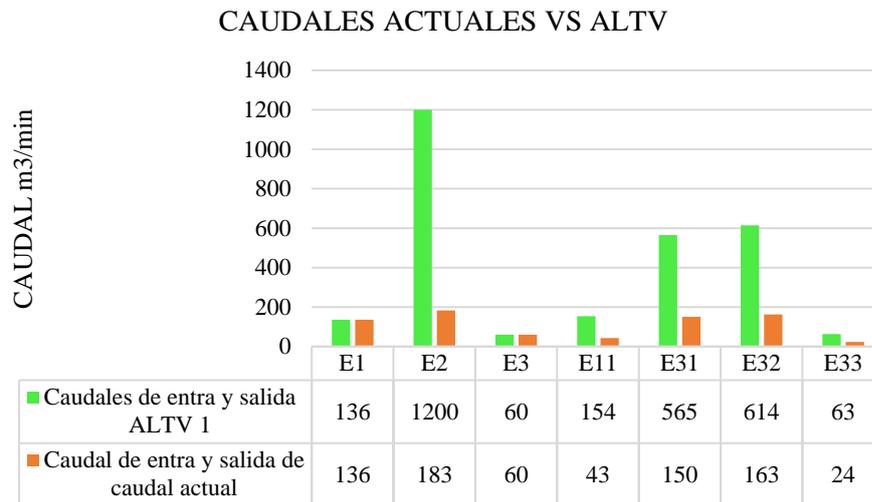


Ilustración 25-4: Caudales actuales en relación con alternativa

Realizado por: Ortega, George, 2023

4.12.2.11. *Ventilación en la línea de exploración con la alternativa*

Teniendo en cuenta el número de trabajadores que laboran en frente de exploración se puede considerar suficiente el caudal que ingresa con la alternativa planteada, sin embargo, la velocidad no es lo suficientemente adecuada, esto es ocasionado por hecho de tener chimeneas ubicadas antes de la zona de exploración y también por no contar con una chimenea de salida o conexión a otra chimenea que sea lo más cercana al frente de exploración.

Conociendo los principios básicos para una correcta circulación de los flujos de aire en un sistema de ventilación es necesario de una entrada y una salida, entonces al no tener como fundamento este principio en un sistema de ventilación se corre el riesgo de mantener una recirculación de flujos de aire.

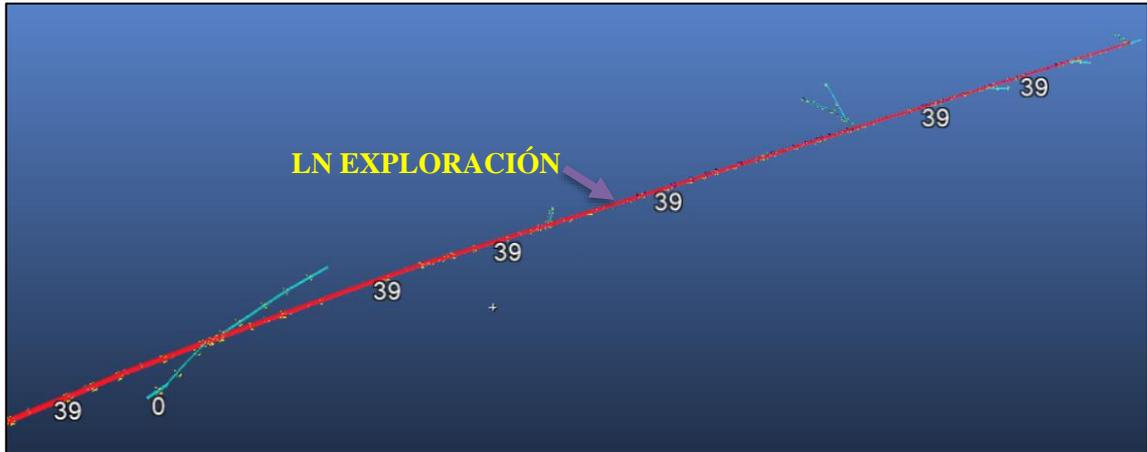


Ilustración 26-4: Caudal en zona de exploración

Realizado por: Ortega, George, 2023

4.12.2.12. *Velocidades de la línea principal con alternativa*

Con la modificación del flujo de aire que ingresan al sistema de ventilación para cumplir con los requerimientos en cuanto a caudales y velocidades se puede observar en la gráfica que la alternativa es suficientemente capaz de suplir el requerimiento total de aire, no obstante, en la línea principal en la zona de exploración se puede hacer suficiencia con el caudal necesario, pero no se puede llegar con la velocidad adecuada, por lo tanto, está por debajo de lo que estipula la normativa.

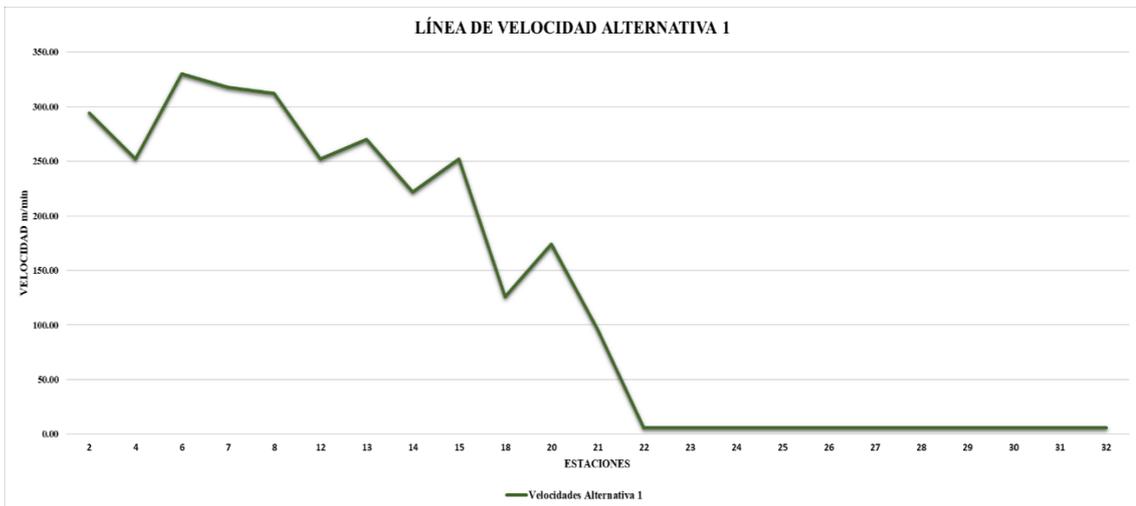


Ilustración 27-4: Ingreso de caudales fijos y un ventilador

Realizado por: Ortega, George, 2023

4.12.3. Simulación en software Vuma

4.12.3.1. Simulación actual del sistema de ventilación

El sistema de ventilación natural de Grumintor 3 está establecido con tres ingresos de aire que forman el sistema de ventilación, los cuales tienen velocidades y caudales promedios respectivamente, tales como: BM LCMR 2.3 m³/s igual a 136.28 m³/min o 4812.62 CFM, BM PAT 3.0 m³/s igual a 182.80 m³/min o 6455.68 CFM, BM VENT 1.0 m³/s igual a 60.26 m³/min o 2128.15 CFM. Dando un total de 6.3 m³/s igual a 379 m³/min o 13396.45 CFM. Cabe recalcar que en este caso tanto para velocidad y volumen se trabaja con m/s y m³/s respectivamente, por ende, se hace necesario la conversión de unidades para equilibrar los valores.

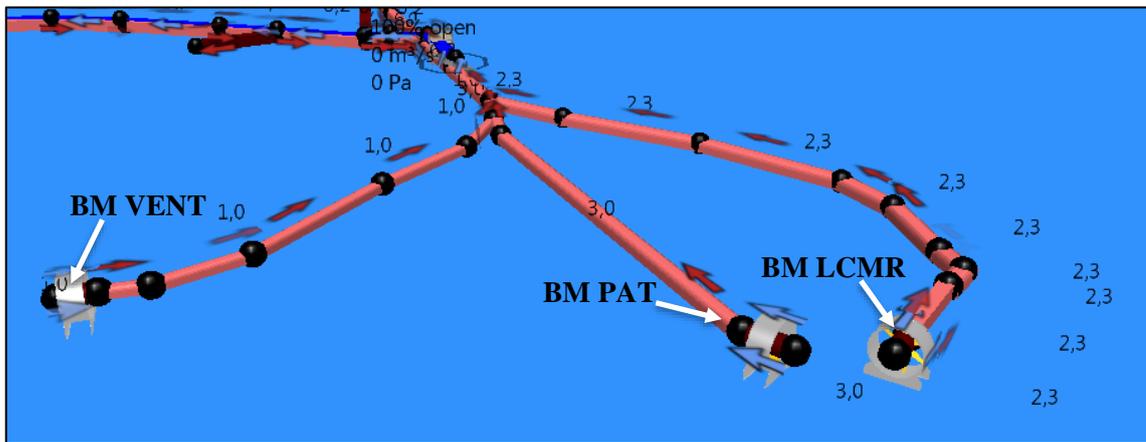


Ilustración 28-4: Caudales de ingreso en software Vuma

Realizado por: Ortega, George, 2023

4.12.3.2. Caudal total de salida

Como en el caso de Ventsim, las salidas se dan por las dos chimeneas que conectan a la chimenea principal de salida a superficie, de igual manera las pérdidas en algunas labores. En el software Vuma se puede evidenciar ciertos cambios con respecto a los caudales de salida sin dejar a un lado que las condiciones son las mismas para Ventsim y Vuma, siendo así que los datos de salida que ofrece Vuma son: 2.5 m³/s igual a 150 m³/min o 5297 CFM para CH SLD E32; CH SLD E31 2.7 m³/s igual a 163 m³/min o 5763 CFM, y para pérdidas 0.4 m³/s igual a 24 m³/min o 842 CFM en GAL 300; 0.7 m³/s igual a 72 m³/min o 1483 CFM en XC 76.

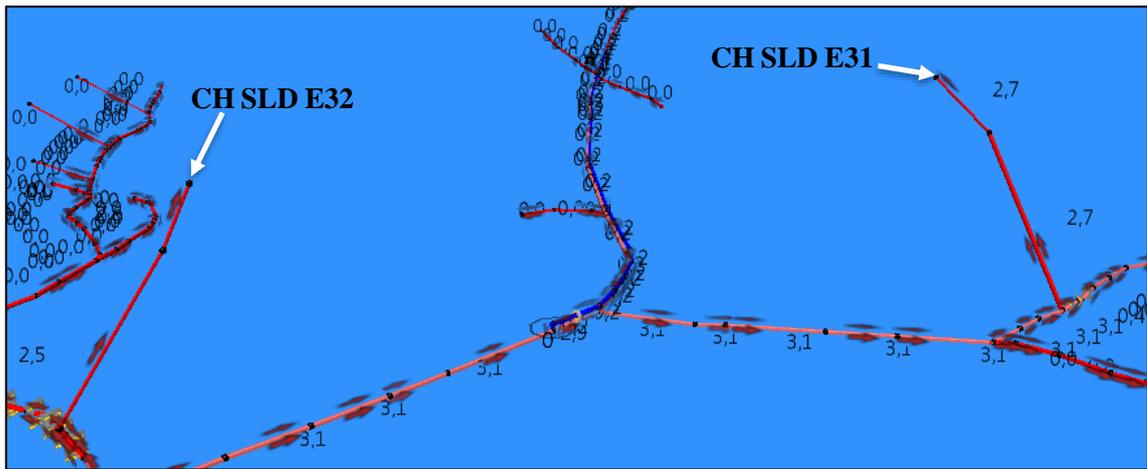


Ilustración 29-4: Caudales de salida por CH SLD E31 y CH SLD E32

Realizado por: Ortega, George, 2023

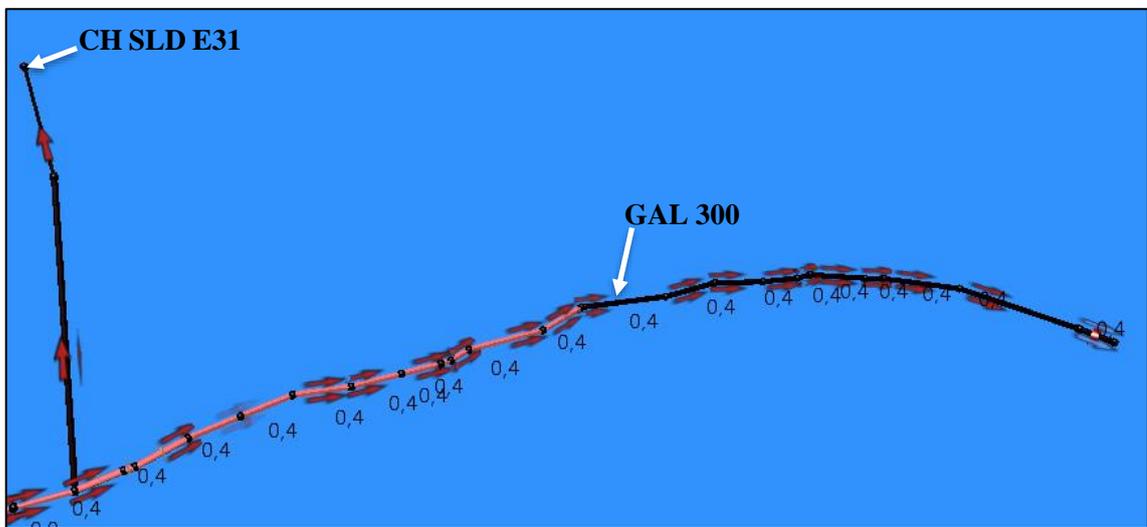


Ilustración 30-4: Pérdidas por GAL 300

Realizado por: Ortega, George, 2023

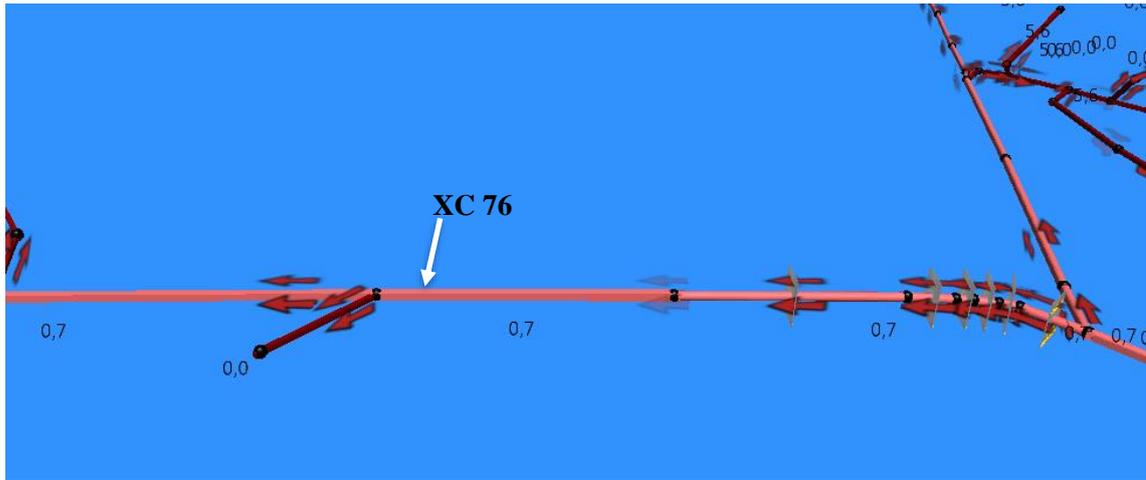


Ilustración 31-4: Pérdidas por XC 76

Realizado por: Ortega, George, 2023

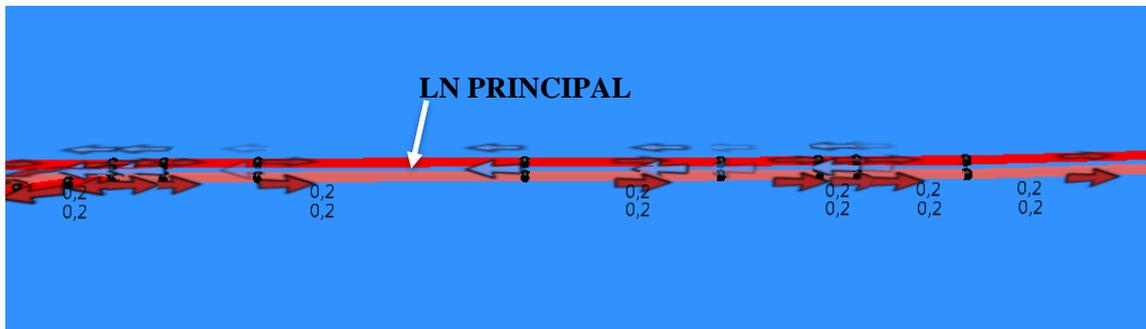


Ilustración 32-4: Caudal en línea de exploración en la zona de sistema secundario

Realizado por: Ortega, George, 2023

Tabla 16-4: Caudales de entrada y salida en software Vuma

Estación	UBICACIÓN		SENTIDO DE CUDAL	CAUDAL		
	Nv	Labor		m3/s	m3/min	CFM
E1	N0	BM LCMR	Ingreso	2.3	136	4803
E2	N0	BM PAT (Ventilador auxiliar)	Ingreso	3.0	183	6463
E3	N0	BM VENT	Ingreso	1.0	60	2119
E11	N0	XC 76	Salida	0.7	42	1483
E31	N0	CH SLD	Salida	2.7	163	5763
E32	N0	CH SLD	Salida	2.5	150	5297
E33	N0	GAL 300	Salida	0.4	24	848
				Total ETRD	379	13384
				Total SLD	379	13391

Realizado por: Ortega, George, 2023

4.12.3.3. *Comparación de caudal de entrada y salida entre software Ventsim y Vuma*

Comparando los caudales de entrada y salida entre los software para simular el sistema de ventilación se pudo observar un cierto cambio en Vuma con respecto a Ventsim, en el cual identifica un intercambio de valores entre las chimeneas de salida, sin embargo, en las pérdidas en el crucero 76 varia 1 m³, mientras que en la galería 200 el valor es el mismo.

La variación en el crucero 76 se puede considerar mínima, pero con respecto a las chimeneas de salida es muy evidente el cambio, con esto se puede entender que, aunque los valores de salida entre el software Ventsim y la información de campo varía ligeramente los caudales son proporcionales y se entiende que hay más caudal de salida por la chimenea de la estación E32, mientras que en el software Vuma la simulación nos dice que hay más caudal de salida por la chimenea de la estación E31.

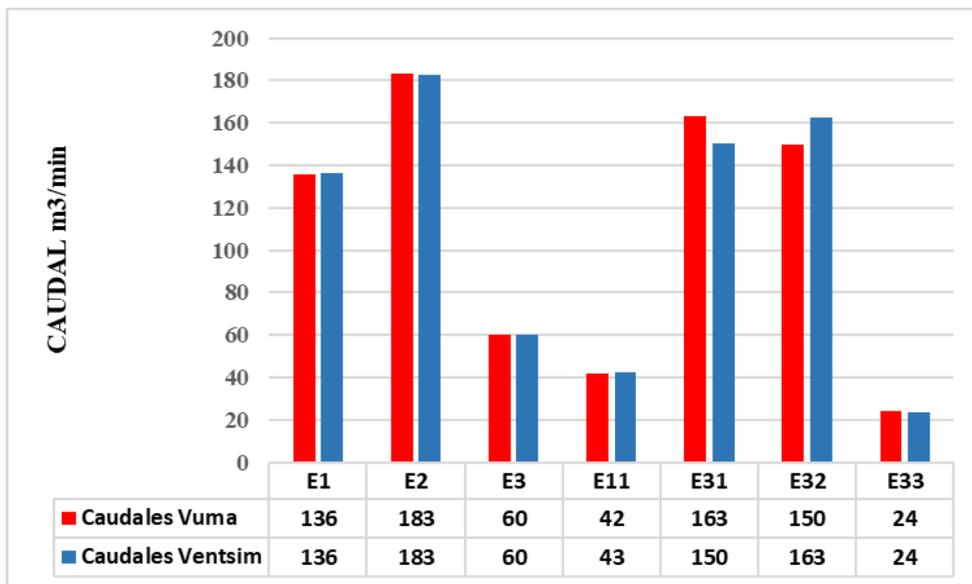


Ilustración 33-4: Caudales de entrada y salida en Ventsim y Vuma

Realizado por: Ortega, George, 2023

4.12.3.4. *Evaluación de la línea de velocidades entre Ventsim y Vuma*

Como se ha mencionado anteriormente con el manejo de unidades de tiempo se trabaja en minutos, es decir que todo se evalúa en m/min en este caso para las velocidades, por motivo de que el software Vuma trabaja con segundos para referirse al tiempo.

A continuación, se evalúa la línea de velocidad para el flujo de aire de la mina entre el software Ventsim y Vuma, por lo que en estas líneas se puede observar cierta similitud en cuanto a la forma

que toma esta línea debido a que en algunos puntos pueden llegar a ser valores similares o tener la misma tendencia, aunque no el mismo valor.

Se puede observar que el pico más alto de velocidad es el mismo de 84 m/min en la E8 para los dos software, los valores más similares y con misma tendencia se encuentran en las estaciones: E2, E3, E4, E6, E12, al final pues los valores no son los mismos pero la tendencia si y obviamente se puede evidenciar la velocidad por debajo de los 5 m/min. Las líneas de velocidad analizadas comprenden solo la línea principal desde el ingreso hasta el final en la línea de exploración.

LÍNEA DE VELOCIDAD VENSIM VS VUMA

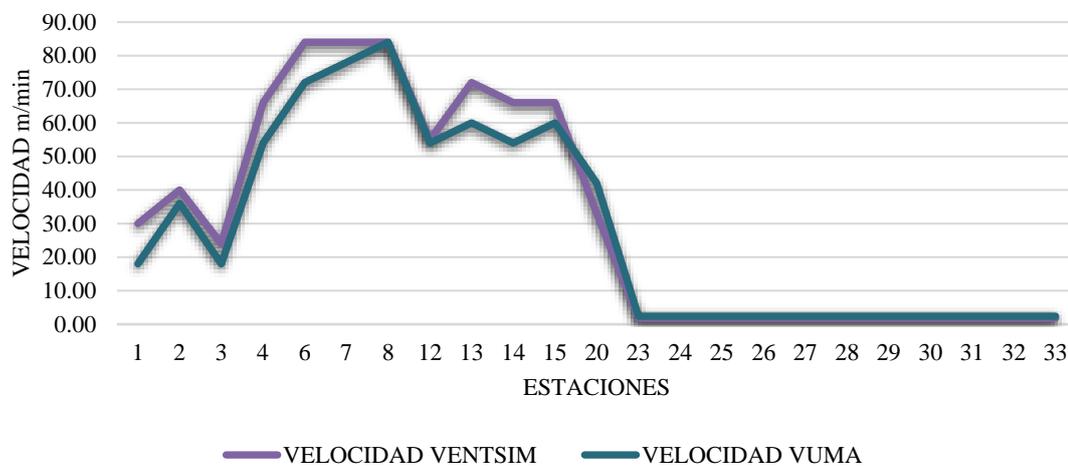


Ilustración 34-4: Comparación de caudales de entrada y salida en Ventsim y Vuma

Realizado por: Ortega, George, 2023

4.12.3.5. Simulación del sistema actual de ventilación con sistema de ventilación aspirante

El sistema secundario de ventilación de tipo aspirante ubicado en la línea principal en dirección al frente de exploración con un total de 6 ventiladores de marca SCHAEFER, los mismos que están ubicados en serie conectados con mangas, sin embargo estos no están conectados entre sí, al ejecutar dicho sistema en el software Vuma lo interpreta de tal manera que el sistema crea una corriente de recirculación de aire, el cual en este caso no altera en ningún caso los caudales de salida por CH SLD E32 y CH SLD E31, dejando a entender que el sistema secundario de tipo aspirante como tal no altera el sistema de ventilación natural en cuanto a los caudales de salida por las mencionadas chimeneas.

Para la representación de las condiciones del sistema secundario en el software Vuma se tiene las siguientes ilustraciones.

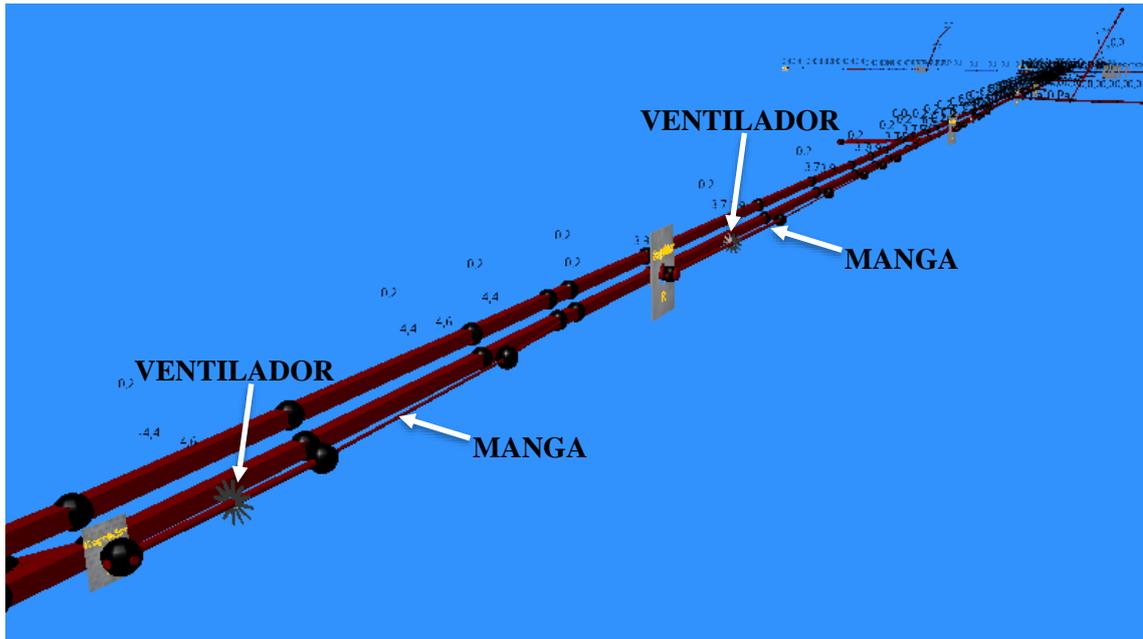


Ilustración 35-4: Sistema de ventilación secundario tipo aspirante en software Vuma

Realizado por: Ortega, George, 2023

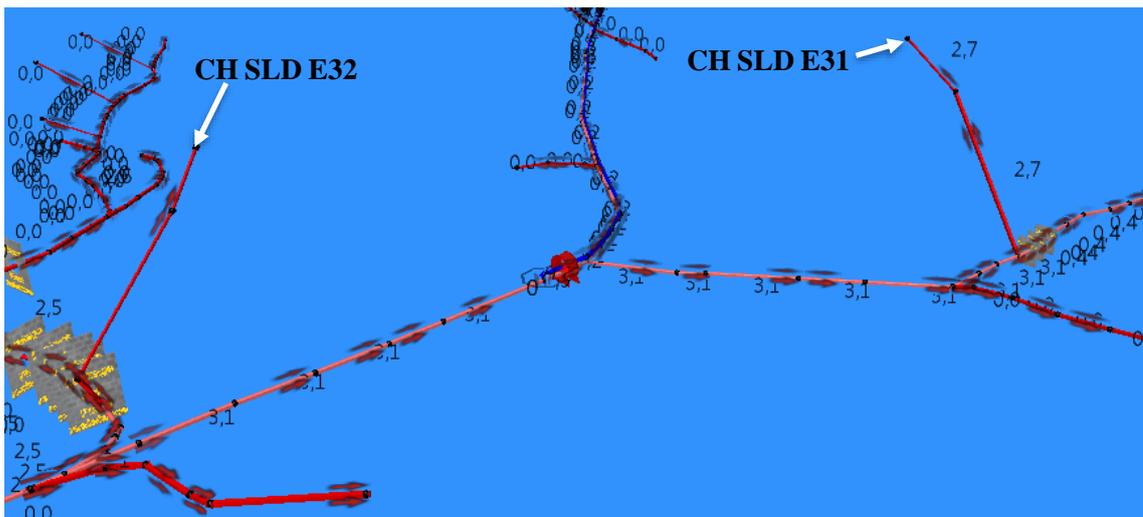


Ilustración 36-4: Caudal por las chimeneas de salida con SVSA en software Vuma

Realizado por: Ortega, George, 2023

A continuación se puede observar en la ilustración 37-4 la recirculación de la corriente de aire generado por uno de los ventiladores instalados en el sistema de ventilación secundario de tipo aspirante, en el cual se evidencia el flujo de aire de 4.4 m³/s igual a 264 m³/min o 9323 CFM generado por el ventilador en sentido de salida, mientras que también se tiene el mismo valor pero negativo, dando por hecho que el caudal generado sale por la manga y regresa por la galería para volver a ingresar.

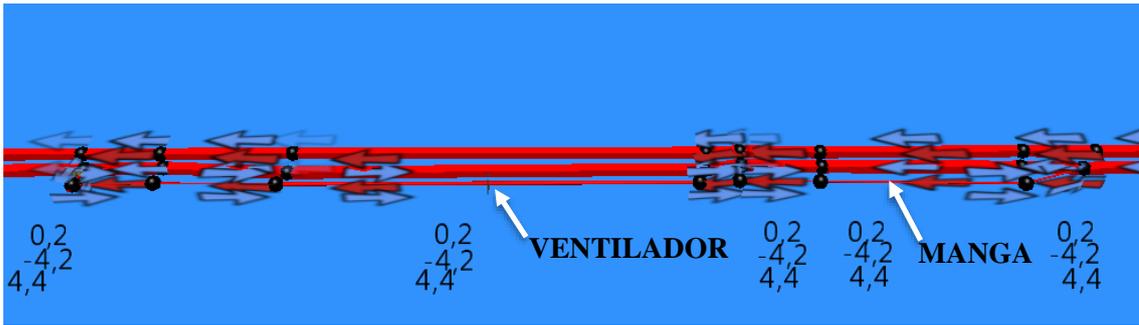


Ilustración 37-4: Salidas de caudal por las chimeneas de salida en software Vuma

Realizado por: Ortega, George, 2023

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se realizó el levantamiento de la información in situ esencial para llevar a cabo el modelamiento y simulación del sistema de ventilación en la mina de la empresa GRUMINTOR S.A por medio de la información topográfica otorgada por parte de la empresa y levantada por el investigador, por medio de esta se estableció la ubicación de componentes del sistema de ventilación y un total de 33 estaciones de control que permitieron monitorear la velocidad de flujos de aire, temperaturas, humedad y dimensión para secciones de las galerías.

En base a los datos obtenidos en campo se determinó que las condiciones termohigrometricas presentes en parte son las adecuadas, en el caso de la temperatura seca y húmeda se encuentran entre los 17 y 25.9 °C dentro de lo ideal y que como resultado da una temperatura efectiva dentro de los 2°C, mientras que la humedad se encuentra entre el 92 y 99.9% considerado como un ambiente fuera de los límites permisibles, a pesar de lo mencionado anteriormente se pudo evidenciar una buena calidad y cantidad de oxígeno, sin embargo, las velocidades de aire cumplen medianamente la normativa ya que debe ser superior a los 15 m/min y por ende se identificó la falta de caudal de aire en base a los requerimientos llegando así a cumplir con solo el 21.6% del requerimiento total.

Se logro realizar la simulación del sistema de ventilación natural en el software Ventsim en base a los caudales de ingreso y salida para visualizar el comportamiento de las corrientes de aire e identificar y dar a conocer las zonas en donde éstas presentan condiciones que no están en los parámetros permisibles, de igual forma contrastar la información recopilada en campo y la información propiciada por la simulación.

Se evaluó que los caudales de ingreso para la mina Grumintor 3 y dan como resultado un ingreso de forma natural de 379.35 m³/min o 13396.45 CFM, sin embargo, en base a los requerimientos para estimar el caudal necesario se obtuvo que debe ser de 1395.04 m³/min o 49286.16 CFM, de tal forma que se requiere un 72.8% para cumplir con el requerimiento o lo que es igual a 1016 m³/min o 35880 CFM.

Analizado el sistema secundario de ventilación de tipo aspirante en la zona de exploración en la línea principal se verificó por medio de la simulación que su aplicación no es del todo eficiente al igual que se lo evidenciaba de forma in situ, ya que no cuenta con ductos de salida que conecten directamente a las corrientes de salida por chimenea, entonces al estar en un estado de ventilación natural el flujo de aire es bajo y a la hora de ejecutar este sistema genera una recirculación de aire en dicha zona por el hecho de ir en contra de la corriente de flujo de aire de la línea principal y a su vez tratar de ingresar el aire del mismo flujo para evacuar los gases generados por la voladura.

Se comprobó que el uso de un software aplicado a la ventilación de mina subterránea es muy importante para conocer el comportamiento de los flujos de aire y otros parámetros que de alguna manera muestran una perspectiva de la realidad de campo, sin embargo el hecho de que un software sea más sofisticado y práctico de manipular es un punto muy importante, por ello en este caso personalmente el software Ventsim es una herramienta excelente para este tipo de trabajos por la agilidad de implementación, ejecución y su apego más a la realidad de campo, mientras que el software Vuma no es una mala opción en el caso de no tener los recursos para un análisis de gran magnitud o temporal de algún proyecto que sirva como una guía para proyectar los trabajos necesarios para un buen sistema de ventilación ya que es gratuito y el Ventsim es pagado.

5.2. Recomendaciones

Colocar un ventilador de hasta 1200 m³/min o 43378 CFM en el ingreso de la boca mina peatonal con el fin de aprovechar la dirección de las corrientes de aire de la superficie y también porque el acceso va en dirección de la línea principal, de modo que no se necesite un exceso de trabajo o esfuerzo del ventilador para romper las resistencias por las curvas como en el caso de las otras bocaminas de acceso.

Otra alternativa sería apostar por la implementación de una chimenea cerca al frente de explotación que conecta a la chimenea principal que llega a la superficie, con la finalidad de poder aprovechar el caudal que ingresa por la línea principal y pase por la zona de exploración, de tal modo que salga por dicha conexión, esto permitiría dejar de usar el sistema secundario de ventilación de tipo aspirante que existe actualmente, que de alguna manera no beneficia como tal a la hora de su ejecución, aunque a pesar de eso no evita el incumplimiento del caudal requerido de ventilación para la mina.

Con la finalidad de no perder flujo de aire sería recomendable hacer uso de sellos temporales en galerías donde no haya actividades mineras con el fin de aprovechar la velocidad, de tal manera que estas lleguen hasta el final con una buena velocidad y presión para un buen flujo de aire en el sistema de ventilación de principio a fin.

BIBLIOGRAFÍA

ABAD, E. Diseño de un sistema óptimo de ventilación para la empresa minera Reina de Fátima (EMIREIFA S.A) en el cantón Zaruma, provincia de El Oro [en línea] (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Técnica Particular de Loja “UTPL”. Loja – Ecuador, 2017, pp. 93 – 99. [Consulta: 15 diciembre 2022]. Disponible en: <https://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/20.500.11962/20673/1/Abad%20Abad%2C%20Enith%20Isabel.pdf>

ARCERNNR. Reglamento de seguridad y salud en el trabajo en el ámbito minero. Capítulo IV Ventilación. [en línea]. 2020. [Consulta: 25 enero 2023]. Disponible en: <https://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2020/12/reglamento-SST-MINERIA.pdf?x42051>

BARRERA, P. H., & PESÁNTEZ, P. E. Diseño y optimización del circuito de ventilación en el tramo norte-sur de la mina “Goldmins”, Zaruma – El Oro [en línea] (Trabajo de Titulación) (Pregrado). Universidad del Azuay. Cuenca – Ecuador, 2019-2020, pp. 34 – 36. [Consulta: 25 noviembre 2022]. Disponible en: <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/9628/1/15261.pdf>

BASCOMPTA, M., SANMIQUEL, L., ANTICOI, H. F., & OLIVA, J. “Ventilation friction factor determination and comparison: Two case studies of potash mining. The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy” [en línea], 2019, (Spain), 119, p. 866. [Consulta: 28 noviembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.17159/2411>

BUSTAMANTE-RÚA, M. O., DAZA-ARAGÓN, A. J., & BUSTAMANTE-BAENA, P. “Simulation software VENTSIM™ the influence of implementation of work abandoned sealings ventilation of an underground coal mine”. Boletín de Ciencias de La Tierra [en línea], 2018, (Colombia), 43, pp. 5–13. [Consulta: 10 octubre 2022]. ORCID: 0000-0002-8409-5531. Disponible en: <https://doi.org/10.15446/rbct.n43.56128>

CETEMIN, A. E. *Ventilación de minas* [en línea]. Arequipa – Perú: Unidad Educativa CETEMIN. [Consulta: 20 septiembre 2022]. Disponible en: <https://mineriadelibrosycursos.blogspot.com/>

GALLARDO, S. A. *Guía metodológica de seguridad para proyectos de ventilación de minas* [en línea]. Santiago de Chile – Chile: SERNAGEOMIN, 2008. [Consulta: 10 de septiembre

2022]. Disponible en: <https://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2018/12/200812GuiaVentilacionMinas.pdf>

GONZÁLES, R. O. EVALUACIÓN Y MODELAMIENTO DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN DE LA U.M. SAN VICENTE – BOLIVIA CON EL SOFTWARE VENTSIM DESIGN, AÑO 2020 [en línea] (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo – Perú, 2021, pp. 57 - 69. [Consulta: 10 enero 2023]. Disponible en: <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/7892>

GONZÁLEZ, N. A., & ORTEGA, F. C. Modelamiento del sistema de ventilación y control de metano con el simulador VENTSIMTM en la mina subterránea de carbón FEZMINE, POLONIA. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad de Concepción. Concepción – Chile, 2019, pp. 76 – 86. [Consulta: 10 enero 2023]. Disponible en: <http://repositorio.udec.cl/xmlui/handle/11594/332>

HERRERA, J. *Ventilación de minas* [en línea]. Madrid – España: Herrera Herbert Juan, 2019 [Consulta: 20 diciembre 2022]. Disponible en: https://oa.upm.es/70227/3/VENTILACION_DE_MINA_LM2B5T3_R0-20190418.pdf

JÜRGEN, B. F. *Mine Ventilation Circuits and Networks (Lecture 5)* [blog]. Spring, 2020. [Consulta: 05 febrero 2023]. Disponible en: MNGN424 Mine Ventilation

JÜRGEN, F. B. *Mine Ventilation Introduction and Properties of Air (Lecture 1)* [blog]. Spring, 2020. [Consult: 05 febrero 2023]. Disponible en: MNGN424 Mine Ventilation

PROSSER, B. S., & WALLACE, K. G. “Practical Values of Friction Factors”. Mine Ventilation Services, Inc [en línea], s.f. (USA), pp. 691 – 695. [Consulta en: 2023-01-5]. Disponible en: <https://scholarsmine.mst.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1099&context=usmvs>

UCP PRODEMINCA. *Evaluación de Distritos Mineros del Ecuador depósitos porfídicos Y EPI-Mesotermiales relacionados con intrusiones de las cordilleras Occidental y Real.* Quito - Ecuador: Noción, 2000, pp. 138 – 147. ISBN-9978-41-371-5.

VILLALBA, M. D. Diseño del circuito de ventilación de la mina Bonanza, operada por la empresa EXPORTADORA AURÍFERA S.A, EXPAUSA, ubicada en el distrito minero Ponce Enríquez (Trabajo de titulación) (Pregrado) [en línea]. Universidad Central del Ecuador, Facultad

de Ingeniería En Geología, Minas, Petróleos y Ambiental. Quito – Ecuador, 2017, pp. 27 – 34.
[Consulta: 15 diciembre 2022]. Disponible en:
<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/12725/1/T-UCE-0012-58.pdf>

ZITRÓN. *Ventilación de Minas* [en Línea]. Gijón – España: Zitron, 2010. [Consulta: 15 noviembre 2022]. Disponible en: www.studocu.com/pe/document/universidad-nacional-de-ingenieria/mineria/ventilacion-de-minas-zitron-2010/27145029



1018-UPT-DBRA-2023

A handwritten signature in blue ink is written over a faint, partially obscured stamp. The stamp appears to be from the "Escuela Superior Politécnica de Chimborazo" and includes the text "DBRA" and "Escuela Superior Politécnica de Chimborazo".

ANEXOS

ANEXO A: LICENCIA PARA SOFTWARE VUMA



Hi George Manuel Ortega Quezada,

Thank you for your interest in VUMA-network.

Your activation key is:

AMPA0-90S05-21GHJ-K8N16-3942F-XBFXTRKEP

Your license account contains 1 activation(s).

You have 1 activation(s) remaining on this license key.

To download VUMA-network, [click here](#).

If you need help licensing your software please read the [licensing help file](#).

Should you experience any technical difficulty, contact us at info@vuma3d.com.

The Vuma Team

ANEXO B: TERMÓMETRO PARA TEMPERATURA SECA Y HÚMEDA



ANEXO C: ANEMÓMETRO PARA MEDIR VELOCIDAD DEL VIENTO



ANEXO D: MEDICIÓN DE GASES



ANEXO E: MEDICIÓN DE SECCIONES PARA GALERÍA



ANEXO F: MATRIZ DE CONSISTENCIA DE ANTEPROYECTO

MATRIZ DE CONSISTENCIA DEL ANTEPROYECTO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN							
TEMA:	SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN EN LA EMPRESA GRUMINTOR S.A						
ESCUELA:	Agronomía						
CARRERA:	Minas						
PROBLEMA	MARCO TEÓRICO	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	METODOLOGÍA	IDENTIFICACIÓN DE RESULTADOS
Los accidentes ocurridos en minería subterránea han generado un llamado de atención a todos aquellos agentes involucrados en la extracción de los recursos naturales del subsuelo; estos hechos han demostrado la importancia de garantizar una buena ventilación, ya que con esto se asegura el confort para las personas al interior de la explotación no solo en términos de temperaturas y concentraciones de oxígeno, sino también en función de la dilución de los gases generados por las voladuras que originan problemas en la salud de los trabajadores ocasionando un declive de la producción en los frentes de trabajo. (Córdoba, C. & Molina, J., 2011)	<p>Topografía es la disciplina que tiene bajo su responsabilidad la captación de información física y su procesamiento numérico, para lograr la representación geométrica, ya sea en forma gráfica o analítica, del espacio físico que nos rodea tanto de la capa terrestre como en el interior de esta. (Ayala, S., Flores, L. & Manzano, E., 2013)</p> <p>La ventilación en toda mina subterránea se debe disponer de circuitos de ventilación natural o forzadas con la finalidad de disponer permanentemente de un aire fresco y salida del aire contaminado o vaciado. (ARCERNNR, 2020)</p> <p>El oxígeno en los frentes de trabajo debe tener una concentración mínima</p>	<p>Objetivo General: Simular el sistema de ventilación de la mina Grumintor 3 por medio del levantamiento de información de las condiciones termohigrométricas, con la finalidad de representar el escenario en los que se ejecutan las labores mineras aplicando software de ventilación.</p> <p>Objetivos específicos: -Levantamiento de la información in situ requerido para la simulación del sistema de ventilación.</p>	¿Es aplicable la simulación del sistema de ventilación en esta mina subterránea?	<p>Ubicación de los sitios de extracción.</p> <p>Requerimiento de ventilación.</p> <p>Ventilador.</p> <p>Software de ventilación</p>	<p>Metros de profundidad.</p> <p>Caudal de oxígeno en m³/min.</p> <p>Capacidad de ventilación.</p> <p>Tipo de software libre (Vensec) y comercial (VentSim)</p>	<p>Utilizar los equipos que permitan el levantamiento topográfico de galerías y cuantificación de obreros.</p> <p>Revisar las normativas de seguridad en el trabajo sobre los límites permisibles de ventilación.</p> <p>Simulación del sistema de ventilación por medio de software informáticos computarizados.</p>	<p>Base de datos de la topografía interior mina.</p> <p>Los límites permisibles de los distintos parámetros que exige la normativa.</p> <p>El modelo del sistema de ventilación.</p>
	<p>tolerable de oxígeno en los ambientes laborales será de 19,50% para autorizar la ejecución de trabajos y se requerirá que los valores de las mediciones demuestren que no se exceden los valores de límites de explosividad internacionalmente aceptados para concentraciones superiores e inferiores de gases y material particulado. (ARCERNNR, 2020)</p> <p>Software de ventilación son software para sistemas de ventilación de minas subterráneas diseñado para modelar y simular la ventilación, flujos de aire, presión, calor, gases, finanzas, fuego y muchos otros tipos de datos de ventilación desde un modelo de túneles y pozos. (Bustamante, M., Daza, A. & Bustamante, P., 2017)</p>	<p>- Revisar la normativa que estipula los parámetros permisibles termohigrométricos para una ventilación subterránea adecuada.</p> <p>- Ejecutar el software de ventilación con la información obtenida para para representación de los diversos escenarios presentes en la mina.</p>					
REVISOR DEL ANTEPROYECTO DE TITULACION:	Ing. Christian Ordoñez MSc			NOMBRE DEL TITULANTE: George Ortega			



epoch

**Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje**

**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL**

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 23 / 06 / 2023

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: George Manuel Ortega Quezada
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Recursos Naturales
Carrera: Minas
Título a optar: Ingeniero en Minas
f. responsable: Ing. Cristhian Fernando Castillo Ruiz



1018-UPT-DBRA-2023

Ing. Cristhian Fernando Castillo