



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas

**Diseño óptimo de sistema de ventilación empleando el
software VentSim para la reducción de niveles de ácido
sulfhídrico (H₂S) en el Crucero 8025 de la mina San
Vicente-CIA SIMSA en el año 2023**

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas

AUTOR

Guillermo Efrain RICALDI PAIBA

ASESOR

Alejandro MENA AYALA

Lima, Perú

2024



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Ricaldi, G. (2024). *Diseño óptimo de sistema de ventilación empleando el software VentSim para la reducción de niveles de ácido sulfhídrico (H₂S) en el Crucero 8025 de la mina San Vicente-CIA SIMSA en el año 2023*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Escuela Profesional de Ingeniería de Minas]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Guillermo Efrain Ricaldi Paiba
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	72848987
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0007-9453-7667
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Alejandro Mena Ayala
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	10451517
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-5906-8390
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	William Gilberto Escudero Simon
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	04051131
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Víctor Hugo Ramírez Ponce
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	06163701
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	David Isaac Melgar Cabana
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	41423051

Datos de investigación	
Línea de investigación	C.0.3.22 Ingeniería de software
Grupo de investigación	No aplica
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	Edificio: CIA -SIMSA País: Perú Departamento: Junin Provincia: Chanchamayo Distrito: Vitoc Latitud: -11.22958 Longitud: -75.38297
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2023-2024
URL de disciplinas OCDE	Minería, Procesamiento de minerales https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.00



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú - Decana de América)
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS
Av. Colonial cdra. 53 - Ciudad Universitaria
Central Telefónica: 619-7000 anexos: 1110 - 1111
Lima 1 - Perú

**ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS PARA OPTAR TÍTULO
PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS**

En las instalaciones de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, el jueves 14 del mes de marzo del 2024, siendo las 19:30 horas, en presencia de los Señores Docentes designados como Miembros del Jurado

Reunidos para el Acto Académico Público de la Sustentación de la TESIS de Don: **Guillermo Efraín Ricaldi Paiba**, Bachiller en Ingeniería de Minas, quien sustentó la Tesis Titulada: **"Diseño óptimo de sistema de ventilación empleando el software VentSim para la reducción de niveles de ácido sulfhídrico (H₂S) en el Crucero 8025 de la mina San Vicente-CIA SIMSA en el año 2023"**, para la obtención del Título Profesional de Ingeniero de Minas.

Los miembros del Jurado Calificador, escuchada la sustentación respectiva, plantearon al graduando las observaciones pertinentes, que fueron absueltas a:

APROBADO CON MENCIÓN HONROSA

El Jurado procedió a la calificación, cuyo resultado fue la nota de:

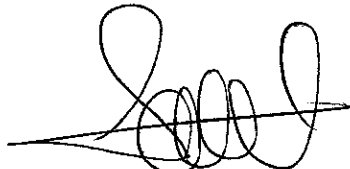
16 (DIECISEIS)

Habiendo concluido la Sustentación de la Tesis por el Jurado Calificador, el Miembro presidente del Jurado, recomienda que la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, otorgue el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS**, a Don **Guillermo Efraín Ricaldi Paiba**.

Siendo las 20:15 horas, se dio por concluido el acto académico, expidiéndose cinco (05) Actas Originales de la Sustentación de Tesis.

Ciudad Universitaria, 14 de marzo del 2024


Dr. WILLIAM GILBERTO ESCUDERO SIMON
MIEMBRO PRESIDENTE


Mg. DAVID ISSAC MELGAR CABANA
MIEMBRO


Ing. VÍCTOR HUGO RAMÍREZ PONCE
MIEMBRO



CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo ALEJANDRO MENA AYALA en mi condición de asesor acreditado con la Resolución Decanal N° 001097-2023-D-FIGMMG/UNMSM de la tesis/monografía/informe de investigación/trabajo académico, cuyo título es "DISEÑO ÓPTIMO DE SISTEMA DE VENTILACIÓN EMPLEANDO EL SOFTWARE VENTSIM PARA LA REDUCCIÓN DE NIVELES DE ÁCIDO SULFÚDRICO (H₂S) EN EL CRUCERO 8025 DE LA MINA SAN VICENTE- CIA SIMSA EN EL AÑO 2023", presentado por el bachiller/magíster/egresado/licenciado/estudiante GUILLERMO EFRAIN RICARDI PAIBA para optar el grado/título/especialidad de INGENIERO DE MINAS CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual.

Según la revisión, análisis y evaluación mediante el software de similitud textual, el documento evaluado cuenta con el porcentaje de 18 % de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación** en el repositorio institucional.

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como Uno de los requisitos para la obtención del grado/ título/ especialidad correspondiente.

Firma del Asesor

DNI:

10451517

Nombres y apellidos del asesor:

ALEJANDRO MENA AYALA



Dedicatoria

A mi madre, que desde el cielo me ilumina para seguir adelante.

A mi padre por su constante apoyo y confianza depositada en mí.

A mis hermanos quienes son mi mayor motivación para nunca rendirme.

A mi familia en general.

Gracias a todos.

Agradecimientos

A Dios quien guía mis pasos.

A la UNMSM y escuela de Ing. De Minas por permitir mi formación en sus aulas.

A mi asesor, Dr. Alejandro Mena Ayala, por toda su atención y recomendaciones brindadas a mi investigación.

Al Dr. Jesús Alberto Torres Guerra por su gran ayuda y colaboración en la realización de esta investigación.

Al Mag. Alexis Baca Mena por sus enseñanzas y apoyo brindado en la U.M. San Vicente.

RESUMEN

El crucero 8025 es una labor ciega de exploración que tiene previsto desarrollar 1291m. Durante su ejecución se han venido realizando trabajos de exploración mediante sondajes diamantinos, esta actividad provocó la liberación del gas ácido sulfhídrico, cuya evacuación se evidenció deficiente en términos de inyección y extracción de aire, afectando la salud de los trabajadores, además que inicialmente en la U.M. San Vicente, la compra y configuración de ventiladores, así como el diseño de sistema auxiliar se realizaba de forma empírica.

El objetivo principal de la investigación fue diseñar un óptimo sistema de ventilación empleando el software VentSim que permita la reducción de niveles de ácido sulfhídrico en el crucero 8025 de la mina San Vicente- CIA SIMSA. Se planteó un diseño de investigación de metodología cuantitativa, tipo de investigación cuasi experimental, un alcance a nivel descriptivo y de temporalidad longitudinal. La técnica utilizada: Recopilación de información, mediciones en campo y manejo de software VentSim.

La cobertura de aire previo al diseño era de 44% y los niveles de ácido sulfhídrico indicaban un valor promedio de 19 ppm, cuyo valor excede a lo permisible de 10 ppm como lo indica la norma vigente. En base a las mediciones tomadas en campo y mediante el software VentSim considerando parámetros técnicos, de relación de flujo incomprensible y financieros se determinó la construcción de una labor de extracción de aire viciado y la configuración de un nuevo sistema de inyección de aire limpio con lo que se logró obtener una cobertura de aire de 102.5 % y los niveles de ácido sulfhídrico se redujeron a 3 ppm. En la evaluación de costos, el nuevo diseño fue un 4% mayor al costo actual. No obstante, el nuevo diseño permitió la continuidad de operaciones de exploración y avance del crucero, lo que mejoró el confort de los colaboradores, y a futuro permitirá la extracción de aire viciado de nuevas labores.

Palabras clave: Optimizar, Sistema de ventilación, Diseño, VentSim, Ácido sulfhídrico

ABSTRACT

Crosscut 8025 is a blind exploration project that is planned to develop 1291m. In its execution, exploration work has been carried out using diamond drilling, its activity caused the release of sulfhydic acid gas whose evacuation was deficient in terms of injection and extraction of air, affecting workers health, furthermore, initially at the U.M. San Vicente, the purchase, fans configuration and the auxiliar system design were made out empirically.

The main objective of the research was to design an optimal ventilation system using the VentSim software that allows the reduction of sulfhydic acid gas levels in crosscut 8025 of the San Vicente-CIA SIMSA mine. It was proposed research design of quantitative methodology, a quasi-experimental research type with a scope at a descriptive level of longitudinal temporality. The technique that was used: Information collection, field measurements, VentSim software management.

The predesign air coverage was 44% and sulfhydic acid levels indicated an average value of 19 ppm, a value that exceeds the permissible value of 10 ppm as indicated by the current standard. Based on the measurements took in the field and through VentSim software, considering technical, incompressible flow ratio and financial parameters, was determinate construction of a dirty air extraction shaft and the configuration of a new clean air injection system a thereby was achieved a coverage of 102.5 % and sulfhydic acid levels were reduced to 3 ppm. In the cost evaluation, the new design was a 4% higher than the current cost. However, the new design allowed the continuity of the exploration and advancement operations of the crosscut, improving the comfort of the collaborators, which will allow the extraction of tainted air of new excavations.

keywords: Optimize, Ventilation system, Design, VentSim, Sulfuric acid.

INDICE GENERAL

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Introducción	1
1.2. Planteamiento de Problema	2
1.2.1. Descripción de la problemática.....	2
1.2.2. Formulación de problema.....	3
1.3. Objetivos de la investigación.....	4
1.4. Importancia y alcance de la investigación	4
1.5. Limitaciones de la investigación.....	5
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO	6
2.1. Antecedentes de la investigación.....	6
2.1.1. Antecedentes internacionales	6
2.1.2. Antecedentes nacionales	7
2.2. Bases teóricas	10
2.2.1. Fundamentos	10
2.2.2. Propiedades físicas del aire	26
2.2.3. Relaciones de flujo incomprensible	29
2.2.4. Sistema de ventilación	33
2.2.5. Red de sistema de ventilación.....	36
2.2.6. Ventiladores	43
2.2.7. Mangas de ventilación.....	52
2.2.8. Diseño de Sistema de ventilación.....	55
2.2.9. Diámetro óptimo para chimenea tipo Rb	56
2.2.10. Requerimiento de aire	59
2.2.11. Levantamientos de ventilación	64

2.2.12. Software VentSim.....	64
2.2.13. Límites máximos permisibles	67
2.3. Definición de términos	68
CAPITULO III. HIPÓTESIS Y VARIABLES	69
3.1. Las hipótesis.....	69
3.1.1. Hipótesis General.....	69
3.1.2. Hipótesis Específica	69
3.2. Las variables.....	69
3.2.1. Variable Independiente	69
3.2.2. Variable Dependiente.....	70
3.3. Operacionalización de variables	70
CAPITULO IV. MATERIALES Y MÉTODOS	71
4.1. Área de estudio de la mina San Vicente	71
4.1.1. Ubicación y acceso:	71
4.1.2. Clima.....	72
4.1.3. Geología Regional.....	72
4.1.4. Tipo de depósito.....	73
4.1.5. Geología económica	73
4.1.6. Tipo de sostenimiento	73
4.1.7. Método de minado.....	74
4.1.8. Operaciones unitarias de perforación y voladura.....	76
4.1.9. Sistema de ventilación U.E.A. San Vicente	77
4.1.10. Aguas subterráneas	79
4.2. Diseño de investigación	80
4.3. Población y muestra	80
4.3.1. Población	80

4.3.2.	Muestra	80
4.4.	Procedimiento, técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	81
4.4.1.	Técnicas.....	81
4.4.2.	Instrumentos de recolección de información.....	81
4.4.3.	Procedimientos de recolección de información.....	85
CAPITULO V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		88
5.	RESULTADOS	88
5.1.	Descripción y mediciones en campo del CX 8025.....	88
5.1.1.	Medición de velocidad de aire	91
5.1.2.	Medición de gases	96
5.2.	Requerimiento de aire.....	99
5.2.1.	Caudal requerido por el número de personal.....	100
5.2.2.	Caudal requerido por equipo Diesel	100
5.2.3.	Caudal requerido por fugas	101
5.2.4.	Requerimiento de aire total	101
5.3.	Cobertura de ventilación	102
5.4.	Simulación VentSim del sistema actual.....	103
5.4.1.	Configuración de parámetros en VentSim	103
5.4.2.	Parámetros actuales de operación	103
5.4.3.	Factor de fricción.....	105
5.4.4.	Calibración del software VentSim.....	105
5.4.5.	Curva característica de ventilador	107
5.4.6.	Sistema de ventilación auxiliar	108
5.4.7.	Consumo de energía-costo de ventilación.....	113
5.4.8.	Simulación de contaminante	114
5.4.9.	Simulación dinámica de contaminante	116

5.5.	Diagnóstico del sistema de ventilación del CX 8025	117
5.6.	Diseño de sistema de extracción de aire viciado.....	118
5.6.1.	Chimenea de extracción tipo Rb.....	118
5.6.2.	Selección de diámetro óptimo	121
5.6.3.	Simulación VentSim Rb 8025.....	125
5.7.	Diseño de sistema auxiliar de ingreso de aire limpio	129
5.7.1.	Determinación de conducto de ventilación	131
5.7.2.	Determinación de ventilador.....	136
5.8.	Simulación de diseño de sistema de ventilación	144
5.8.1.	Simulación de contaminante	145
5.8.2.	Simulación dinámica	146
5.8.3.	Medición de velocidad de aire	149
5.8.4.	Medición de gases	154
5.8.5.	Cobertura después del diseño de sistema de ventilación	157
5.8.6.	Análisis de costos de ventilación	157
5.9.	Análisis estadístico	160
5.9.1.	Caudal de aire.....	160
5.9.2.	Niveles de ácido sulfhídrico.....	162
6.	DISCUSIÓN.....	165
7.	CONCLUSIONES	167
8.	RECOMENDACIONES.....	168
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	169
10.	ANEXOS.....	172

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Explosividad del hidrógeno	21
Figura 2 Factor de perdidas por choque	31
Figura 3 Sistema de ventilación auxiliar impelente	35
Figura 4 Sistema de ventilación auxiliar de extracción.....	35
Figura 5 Sistema de ventilación auxiliar mixto	36
Figura 6 Circuito en serie.....	37
Figura 7 Circuito en paralelo.....	38
Figura 8 Circuito tipo triángulo y estrella.....	39
Figura 9 Primera ley de Kirchhoff	40
Figura 10 Primera ley de Kirchhoff	41
Figura 11 Curva de resistencia del sistema	42
Figura 12 Ventilador axial 80 000 CFM - Mina San Vicente.....	44
Figura 13 Ventilador centrífugo	45
Figura 14 Curva característica de un ventilador.....	48
Figura 15 Curva característica para 2 ventiladores conectados en serie	50
Figura 16 Curva característica para 2 ventiladores conectados en paralelo	51
Figura 17 Ventiladores de 105,000 CFM conectados en paralelo - Mina San Vicente ...	51
Figura 18 Ducto impelente.....	52
Figura 19 Ducto aspirante	53
Figura 20 Ducto tipo "Y" estándar.....	53
Figura 21 Ducto tipo "Y" lateral.....	54
Figura 22 Ducto de reducción.....	54
Figura 23 Esquema para establecer una red básica de ventilación	56
Figura 24 Determinación del diámetro óptimo de chimenea	58

Figura 25 Ubicación de la Unidad San Vicente.....	71
Figura 26 Método de explotación corte y relleno ascendente	75
Figura 27 Método de minado por cámaras y pilares	76
Figura 28 Anemómetro de hilo caliente	82
Figura 29 Distanciómetro, Kit Testo 440 DP, monitor de gases ALTAIR 5X	83
Figura 30 Cuaderno y lapiceros para la toma de datos.....	84
Figura 31 Medición por método de 9 puntos.....	85
Figura 32 Sustento de factores de una sección típica - SIMSA	86
Figura 33 CX 8025 Nv. 1370, marzo 2023.....	90
Figura 34 Factor de fricción software VentSim	105
Figura 35 Curva característica, ventilador 30 000 CFM	107
Figura 36 Ventilador conectado en serie -CX 8025	108
Figura 37 Segundo Ventilador conectado en serie -CX 8025	111
Figura 38 Configuración de contaminante	115
Figura 39 Simulación de contaminante.....	116
Figura 40 Resultados de la simulación dinámica	117
Figura 41 Vista de planta CX 8025 y GA 690 S	119
Figura 42 Ubicación del Rb 8025.....	120
Figura 43 Chimenea de extracción de aire viciado Rb 8025	121
Figura 44 Simulación de chimenea de extracción Rb 8025	125
Figura 45 Parámetros técnicos de ventilador extractor- CA 084 NW, RB 8025.....	126
Figura 46 Simulación de ventilador extractor 30 KCFM- CA 084 NW, Rb 8025	127
Figura 47 Vista de planta, CX 8025	128
Figura 48 CX 8025, junio 2023	129
Figura 49 Ingreso de aire limpio CX 8025.....	130
Figura 50 Ubicación del ventilador para el CX 8025	131

Figura 51 Calculadora de ductos- Un conducto de ventilación	132
Figura 52 Resultados de un ventilador de 30 KCFM y un conducto de ventilación	133
Figura 53 Cálculo con doble conducto de ventilación	134
Figura 54 Resultados de un ventilador de 30 KCFM y doble conducto de ventilación .	135
Figura 55 Recomendación de ventiladores.....	136
Figura 56 Ventilador tipo VAV-45-26.5-1750-I-A (50 KCFM)	137
Figura 57 Resultados de Escenario A- VAV-45-26.5-1750-I-A (50 KCFM)	137
Figura 58 Ventilador tipo VAV-32-14-3450-II-A, 55° (30 KCFM)	138
Figura 59 Calculadora de ductos- VAV-32-14-3450-II-A, 55°	139
Figura 60 Alcance máximo - Ventilador VAV-24.5-14-3450-II-A, 55°	140
Figura 61 Ventilador VAV-24.5-14-3450-II-A, 55° instalado 500m	141
Figura 62 Ventilador tipo VAV-32-14-3450-II-A, 60° (30 KCFM)	141
Figura 63 Calculadora de ductos- VAV-32-14-3450-II-A, 60°	142
Figura 64 Ventilador VAV-32-14-3450-II-A- 55°	143
Figura 65 Sistema auxiliar de ingreso de aire limpio	144
Figura 66 Configuración de contaminante CA DDH 8170	145
Figura 67 Simulación de contaminante CA DDH 8170	146
Figura 68 Simulación dinámica CX 8025	147
Figura 69 Diseño óptimo de sistema de ventilación, CX 8025	148

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Componentes del aire seco	11
Tabla 2 Ritmo respiratorio, inhalación de aire, consumo de O ₂ y CR por actividad	12
Tabla 3 Efectos de la deficiencia de Oxígeno	15
Tabla 4 Efectos fisiológicos del dióxido de carbono	17
Tabla 5 Reacciones fisiológicas al monóxido de carbono	18
Tabla 6 Reacciones fisiológicas al dióxido de azufre	19
Tabla 7 Reacciones fisiológicas del dióxido de nitrógeno (ppm)	20
Tabla 8 Reacciones fisiológicas del ácido sulfhídrico	22
Tabla 9 Rangos de tamaño de los aerosoles comunes	24
Tabla 10 Leyes del ventilador	46
Tabla 11 Factor de producción según consumo de madera	60
Tabla 12 Velocidad mínima por temperatura	61
Tabla 13 Operacionalización de variables	70
Tabla 14 Acceso a la mina San Vicente	72
Tabla 15 Estadística de velocidad de aire marzo - mayo, frente de avance CX 8025	91
Tabla 16 Velocidad de aire marzo - mayo, frente de avance CX 8025	93
Tabla 17 Velocidad de aire marzo - mayo, CA DDH 8112	94
Tabla 18 Velocidad de aire y caudal marzo - mayo, CA DDH 8112	96
Tabla 19 Monitoreo de gases marzo - mayo, frente de avance de CX 8025	97
Tabla 20 Monitoreo de gases marzo – mayo, CA DDH 8112	97
Tabla 21 Estadística de niveles de ácido sulfhídrico marzo - mayo, CA DDH 8112	98
Tabla 22 Resumen cantidad de aire requerido para el CX 8025	102
Tabla 23 Calibración por variación de caudal	106
Tabla 24 Parámetros técnicos del 1° ventilador y manga de ventilación	109

Tabla 25	Longitud de alcance del 1er ventilador.....	111
Tabla 26	Alcance del 1° y 2° ventilador conectados en serie.....	113
Tabla 27	Consumo de energía CX 8025.....	114
Tabla 28	Parámetros técnicos para la construcción de Rb 8025	122
Tabla 29	Parámetros financieros para la construcción de Rb 8025	123
Tabla 30	Costo anual para diámetro óptimo de Rb 8025	123
Tabla 31	Estadística de velocidad de aire junio- julio, frente de avance CX 8025.....	149
Tabla 32	Velocidad de aire junio – julio, frente de avance CX 8025	151
Tabla 33	Velocidad de aire junio - julio, CA DDH 8170	152
Tabla 34	Velocidad aire y caudal de junio – julio, CA DDH 8170	153
Tabla 35	Monitoreo de gases junio - julio, frente de avance de CX 8025.....	154
Tabla 36	Monitoreo de gases junio- julio, CA DDH 8170	155
Tabla 37	Estadística de niveles de ácido sulfhídrico junio - julioo, CA DDH 8170.....	155
Tabla 38	Costos de ventilación antes del diseño	157
Tabla 39	Costos de ventilación después del diseño	158
Tabla 40	Tabla de contingencia - Hipótesis 1	160
Tabla 41	Valores estimados, Ei – Caudal de aire	161
Tabla 42	Determinación de Chi cuadrado – Caudal de aire.....	161
Tabla 43	Tabla de contingencia H2S	162
Tabla 44	Valores estimados, Ei – Hi2S	163
Tabla 45	Determinación de Chi cuadrado – H2S.....	163

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	Velocidad de aire marzo - mayo, frente de avance CX 8025	92
Gráfico 2	Medición de velocidad de aire marzo - mayo, CA DDH 8112	95
Gráfico 3	Niveles de ácido sulfhídrico marzo – mayo, CA DDH 8112	99
Gráfico 4	Longitud de alcance óptimo de ventilación	110
Gráfico 5	Alcance de 2 ventiladores en serie, CX 8025	112
Gráfico 6	Diámetro óptimo de Rb 8025.....	124
Gráfico 7	Velocidad de aire junio-julio, frente de avance CX 8025.....	150
Gráfico 8	Medición de velocidad de aire junio - julio, CA DDH 8170.....	153
Gráfico 9	Niveles de ácido sulfhídrico junio - julio, CA DDH 8170.....	156

CAPITULO I.

INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción

Los sistemas de ventilación tienen un carácter dinámico ya que se encuentran en continua transformación, por lo que es necesario actualizar estos sistemas conforme los desarrollos experimenten nuevos cambios. (López, 2014).

La CIA Minera- San Ignacio de Morococha SIMSA como parte de la optimización de la vida de la mina (LOM) realiza trabajos de exploración mediante sondajes diamantinos. El crucero 8025, es una labor ciega de exploración que tiene previsto desarrollar 1291m, sin embargo, a la fecha se tiene desarrollado 480m. Su geología está compuesta por fallas de secuencia dolomítica, por lo que la realización de sondajes diamantinos remueve el agua subterránea y ocasiona la liberación del gas ácido sulfhídrico como reacción natural del agua con la interacción de materia orgánica presente en dichas fallas. (Baldeon, 2003).

La configuración de sistemas de ventilación y selección de ventiladores se realizan de manera empírica sin considerar parámetros como presión, caudal, factor de fricción, etc. Por lo que se tiene deficiencias en la inyección de aire limpio, obteniendo una cobertura de aire de 44%. Además, al no contar con una labor que evacue el aire viciado hacia el sistema de extracción, se genera altos niveles de ácido sulfhídrico con un valor promedio de 19 ppm, por encima de 10ppm como lo establece la norma vigente. Esto genera una preocupación por mantener el confort de las personas, dado que, al continuar con el desarrollo del crucero, la longitud aumentará y la evacuación de aire viciado será más complicada usando solo el sistema impelente (McPherson, 2009). Por ello, se presenta a continuación un diseño óptimo de sistema de ventilación

empleando el software minero VentSim que, considerando parámetros técnicos, de relación de flujo incomprensible y financieros permita la reducción de los niveles de ácido sulfhídrico (H_2S).

1.2. Planteamiento de Problema

1.2.1. Descripción de la problemática

La industria minera representa un trabajo de alto riesgo debido a las actividades que esta realiza y compromete. Uno de los principales riesgos es el gaseamiento, causado por la combustión incompleta de los equipos diésel, respiración de personas, gases liberados de estratos geológicos y los provocados por voladura.

A medida que se profundiza y aumentan las labores de explotación y exploración varían las condiciones ambientales de la mina, como temperatura, nuevas fuentes de generación de gases, aumento de requerimiento de aire por la flota de equipos, colaboradores y variación de tipo de sostenimiento. Todos estos factores representan un reto en el campo de la ventilación minera, ya que conlleva a la necesidad de implementar un sistema de ventilación que se adapte a las condiciones de la mina que deberá mantenerse actualizado por los constantes cambios que se realicen. En el marco legal, dentro de la rama de ventilación de minas la norma vigente D.S. 023-2017-EM establece estándares de trabajo de ventiladores, seguridad de sistema de ventilación y requerimiento de aire que debe cumplirse para mantener el confort ambiental de calidad de aire dentro de las labores mineras. El Crucero 8025 es una labor cuyo proyecto es desarrollar 1,291m para trabajos de exploración por medio de sondajes diamantinos, actualmente se tiene desarrollado 480m y en la realización de sondajes diamantinos se evidenció presencia del gas ácido sulfhídrico (H_2S) llegando a un valor promedio de 19 ppm formados como reacción al agua con la presencia de materia orgánica presente en algunas fallas de secuencia dolomítica

añadido que la cobertura de aire es de 44% respecto a lo requerido. Las condiciones de la labor, trabajos de exploración y actual diseño de sistema de ventilación genera un problema en la evacuación de ácido sulfhídrico. Ante esta problemática se pretende realizar la investigación con el fin de diseñar un óptimo sistema de ventilación que permita la reducción de niveles de ácido sulfhídrico empleando el software VentSim.

1.2.2. Formulación de problema

Problema general

¿Cómo se puede diseñar un óptimo sistema de ventilación empleando el software VentSim para la reducción de niveles de ácido sulfhídrico (H₂S) en el Crucero 8025 de la mina San Vicente - CIA SIMSA en el año 2023?

Problema específico

- a) ¿Cómo influye la velocidad de aire para la reducción de niveles de ácido sulfhídrico (H₂S) en el Crucero 8025 de la mina San Vicente - CIA SIMSA en el año 2023?
- b) ¿Cómo influye la labor de extracción de aire viciado para la reducción de niveles de ácido sulfhídrico (H₂S) en el Crucero 8025 de la mina San Vicente - CIA SIMSA en el año 2023?
- c) ¿Cómo influye el diseño óptimo de sistema de ventilación empleando el software VentSim en la reducción de costos de ventilación en el Crucero 8025 de la mina San Vicente - CIA SIMSA en el año 2023?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Determinar el diseño óptimo del sistema de ventilación empleando el software VentSim para la reducción de niveles de ácido sulfhídrico (H_2S) en el Crucero 8025 de la mina San Vicente - CIA SIMSA en el año 2023.

1.3.2. Objetivo específico

- a) Determinar si la velocidad de aire influye en la reducción de niveles de ácido sulfhídrico (H_2S) en el Crucero 8025 de la mina San Vicente - CIA SIMSA en el año 2023.
- b) Determinar si la labor extracción de aire viciado influye en la reducción de niveles de ácido sulfhídrico (H_2S) en el Crucero 8025 de la mina San Vicente - CIA SIMSA en el año 2023.
- c) Determinar si el diseño óptimo de sistema de ventilación empleando el software VentSim permite la reducción de costos de ventilación en el Crucero 8025 de la mina San Vicente - CIA SIMSA en el año 2023.

1.4. Importancia y alcance de la investigación

Para poder garantizar un ambiente respirable y a condiciones termo ambientales optimas del CX 8025, es necesario manejar y controlar un sistema de ventilación auxiliar que asegure la continuidad de operaciones y la conservación de la salud de las personas.

Es de vital importancia generar una atmosfera respirable para el buen desempeño de los colaboradores y equipos. Diversas reacciones químicas modifican la composición del aire de la mina. Aguas acidas de la mina formando ácido sulfhídrico (H_2S), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2), formados por oxidación disminuyen la cantidad de oxígeno, explosivos

que producen contaminantes gaseosos como los nitrosos (NO_x). Por lo que se busca disminuir y eliminar contaminantes transportados por el aire mediante un sistema de ventilación. (McPherson, 2009).

Radica en que el diseño óptimo de sistema de ventilación empleando el software VentSim para la reducción de niveles de ácido sulfhídrico (H_2S), puede abastecer de aire limpio al crucero 8025, diluir y extraer los gases generados por la actividad minera, mejorar el confort de las personas durante las operaciones de avance y exploración en la búsqueda de mineralización en el crucero 8025 de la mina San Vicente- CIA SIMSA.

1.5. Limitaciones de la investigación

Esta investigación está sujeta a la disponibilidad de instrumentos de mediciones de campo y un diseño basado en los equipos que opera la CIA SIMSA.

La investigación se limita a la simulación de contaminante en el crucero 8025 más no simulación de dilución de gases de voladura, incendio y/o polvo en los frentes de avance del crucero 8025.

La investigación se limita a indagar, analizar, proponer y desarrollar un diseño de sistema de ventilación del proyecto Crucero 8025 del mes de marzo al mes de julio (lo que al mes de julio se ejecutó 612m), mas no el diseño de los 1,291m del crucero 8025.

CAPITULO II.

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Con el fin de optimizar la ventilación de minas subterráneas, se han venido realizando una infinidad de investigaciones de diseños y simulaciones manuales de VentSim.

2.1.1. Antecedentes internacionales

(S. Maleki*, F. Sotoudeh y F. Sereshki (2018). Aplicación de VENTSIM 3D y programación matemática para optimizar red de ventilación de la mina de carbón Western-Razmja). Resumen: En su investigación menciona que el objetivo principal es diluir, eliminar gases nocivos, y generar una calidad de aire cómoda para los colaboradores. Diseñar manualmente la red de ventilación de toda la mina resultó ser una tarea compleja por todos los ramales que presenta, una pequeña variación de datos conlleva a un diseño erróneo, de modo que empleo el software VentSim considerando la longitud de ramales, área transversal, factores de fricción, etc., le permitió diseñar y simular con precisión el flujo de aire a distribuir en toda la mina de carbón Western-Razmja logrando reducir la resistencia de salida en un 14,37 % de 1,6 Ns^2/m^8 a 1,5 Ns^2/m^8 .

López (2014) Estudio del sistema de ventilación a implementar en la ampliación de una mina metálica mediante el software VentSim. Resumen: Dicho trabajo tuvo como objetivo principal evaluar y dimensionar los equipos de ventilación existentes y a implementar en una mina metálica explotada por el método de Sublevel Caving, para lo cual utilizó el software VentSim que permite simular y predecir tendencias en los sistemas de ventilación tanto a tiempo real como para realizar previsiones a futuro. Para dicho trabajo introdujo al VentSim especificaciones, tales como dimensiones del circuito de ventilación, caudales de entrada

medidos en mina, introdujo curvas de los ventiladores principales, secundarios. Realizó numerosas simulaciones para la ampliación de la mina metálica en la cual concluyó 3 posibles escenarios para suministrar aire limpio en futuros desarrollos, más concretamente el desarrollo de una nueva rampa de acceso construida desde el exterior hacia la zona de explotación, la ejecución de un nuevo pozo de ventilación desde el exterior hasta la rampa principal, la ejecución de un pozo de ventilación exterior desde el exterior hasta el nivel inferior.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Vera Warthon (2022). Implementación y simulación del sistema de ventilación con el software VentSim visual en la Mina San Valentín s.a. – Curahuasi – Apurímac - 2019. Resumen: Dicho trabajo tuvo como objetivo optimizar el sistema de ventilación mediante la evaluación de la cobertura de aire en las labores mineras con el software VentSim Visual, para implementar el sistema de ventilación de acuerdo a los requerimientos de aire, se realizó un levantamiento y monitoreo del sistema de ventilación natural para determinar la cobertura de aire, además se realizó la simulación de los circuitos existentes instalando ventiladores auxiliares para que el aire llegue hacia los frentes de trabajo y garantice el bienestar de los colaboradores, las empresas mineras requieren un determinado flujo de aire debido al incremento de producción y para poder mecanizar la capacidad operativa. Para lograr este objetivo se requieren los equipos diésel con motores de combustión que pueden llegar a representar el 60-80% del requerimiento de aire total, tomando en cuenta las bases teóricas y prácticas, siguiendo una metodología de la investigación. Los resultados de evaluación de simulación en el programa dieron como resultado un flujo natural de 4,237.760 CFM, la cual no cumplía con los requerimientos establecidos en base a la norma vigente, según los cálculos se requería un caudal de 21,000 CFM. El uso del software VentSim Visual le permitió diseñar el sistema de ventilación de la Mina San Valentín S.A., considerando el uso de ventilador para la extracción de gases de las labores.

Díaz (2019) Optimización del sistema de ventilación como un método de control de la calidad del aire en La Mina San Rafael, de la Región Puno. Resumen: La mina en estudio se ubica en el distrito de Antauta, Provincia de Melgar, de región Puno, abarca los años 2015 al 2018, cuyo objetivo fue mejorar la calidad de aire en base con la optimización sistema de ventilación, empleando software especializado; todo ello para el cumplimiento del DS 024 -2016-EM y su modificatoria DS 023 -2017 – EM, por otra parte, cumplir con los estándares establecidos por el D.S. 074-2001 PCM – Reglamento de Estándares Nacionales de calidad de aire. Como herramienta de Optimización de Sistema de Ventilación se usó el software VUMA, considerando factores como velocidad para la dilución o evacuación de gases contaminantes del aire (CO, CO₂, NO₂, O₂), temperatura para controlar las condiciones termo ambientales, brindar mejor calidad de aire en los frentes de trabajo, condiciones ergonómicas para los colaboradores, mayor productividad de los equipos y garantizar la operación continua de procesos. Se realizó diversas simulaciones previa configuración de red de ventilación, ubicación de ventiladores (principales y secundarios), nuevas chimeneas, labores de ingreso de aire limpio, labores de evacuación de aire viciado, resistencias de labores, y requerimiento de aire en base a la cantidad de personal y equipos diésel utilizado. Se dio mayor enfoque a los tajos más críticos en los que la mejora de aire se dio en un 98.9%; en el 1.1.% que queda de tajos por encima de LMP, se optó por instalar ventiladores auxiliares de 30,000 CFM, para dar mayor flujo y cumplir con la norma vigente peruana.

Patiño Gallo (2022). Simulación del sistema de ventilación, con el uso del software VentSim Premium, a fin de optimizar el aire en las labores subterráneas. Mina Central - U. M. Yauricocha. Resumen: La tesis tuvo como objetivo hacer una propuesta que optimice el aire en los frentes de trabajo usando como herramienta el software VentSim. La metodología usada, para conocer el sistema de ventilación, se basó en antecedentes de la empresa y contratista; operaciones, infraestructura y equipamiento con el que funciona actualmente el sistema de

ventilación. Se determinó que la mina presentaba una cobertura de 72% equivalente a 516,605 CFM y un déficit de aire de 144,558 CFM, que representaba el 28 % del total de aire necesario para su operación de manera óptima. Empleando el software VentSim realizó diversas simulaciones y presentó una distribución de aire en 8 escenarios tomando en cuenta el caudal de aire, trabajadores, equipos diésel, temperatura, fugas y explosivos llegando a la conclusión que cuatro escenarios no satisfacen la necesidad de aire y los otros cuatro si la satisfacen con variaciones porcentuales significantes.

Baldeon Huaynates (2023). Informe geológico de no presencia de cámaras de gas mina San Vicente. Resumen. En este informe se tuvo como objetivo demostrar la no presencia de cámaras de gas en la mina San Vicente, bajo la cual describe al yacimiento de tipo Mississippi Valley Type (MVT) alojado en secuencias dolomíticas con mineralización de Zinc, Plomo con minerales de ganga a carbonatos de magnesio-calcio y en menor proporción pirita. Además, señala que en el total de 849,053m perforados concerniente a 6,722 sondajes hechos a enero del 2023 y en más de 52 años que la mina está en operación no se ha evidenciado zonas de cavidad kárstica ni cámaras grandes de gas, no obstante, en algunos sondajes perforados hacia la profundización de la zona de Ayala inferior se presencié pequeñas cantidades de H₂S, la cual interpreta como reacción natural del agua con la interacción de materia orgánica presente en las fallas de secuencia dolomítica.

(Camargo & Segura, 2023). Desarrollo de una chimenea de ventilación en una mina ubicada al centro del Perú aplicando el sistema Raise Boring. Resumen. En este informe se tuvo como objetivo principal desarrollar una chimenea de ventilación mediante el sistema de perforación Raise Boring considerando la factibilidad operativa de la ejecución del proyecto para la mina (parámetros de ventilación) y la factibilidad técnica – económica del sistema. Se recopiló información para el desarrollo del caso de estudio (CM RB 650) donde se midieron parámetros operativos, parámetros de ventilación antes y después de la construcción de la chimenea RB

650. Finalmente se realizó un análisis técnico comparativo frente a otras alternativas de ejecución y se realizó un análisis de costos entre los sistemas viables. En referencia a los resultados obtenidos, la ventilación de la labor del Nv.20 después de la conexión de la chimenea RB 650 mostró condiciones de temperatura y flujo de aire adecuados para que el personal pueda laborar en un ambiente óptimo y se cumpla con la base legal de la normativa peruana. El costo total producto por ejecutar el proyecto CM RB 650 para el sistema Raise Boring fue de 147,637 US\$, por otro lado, para el sistema convencional se esperaría un costo total de 143,075 US\$. Después de analizar ambos resultados quedó demostrada la viabilidad del sistema Raise Boring para la ejecución del proyecto CM RB 650, dado que el rendimiento fue superior en un 57 % y representó el sistema más seguro frente al convencional; incluso teniendo un costo ligeramente superior.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Fundamentos

Aire

El aire es un gas insípido e incoloro envolvente de la Tierra, importante para la respiración de todos los seres vivos. Está compuesto por la mezcla mecánica de varios gases, principalmente el nitrógeno (neutro para la vida animal), y oxígeno (esencial para la vida en todas sus formas).

El aire atmosférico es el aire que respiramos y es aire húmedo, conformado por aire seco con una cantidad variable de vapor de agua para brindar condiciones de vida al ser humano. La Tabla 1 muestra los componentes del aire seco a 1.2928 kg/m³, a 0°C (760 mmHg). (Soler & Palau, 2009).

Tabla 1*Componentes del aire seco*

Gas	Símbolo	En volumen (%)	En peso (%)	Contenido en el aire g/m ³	Peso específico kg/m ³
Nitrógeno	N ₂	78.08	75.518	976.30	1.2504
Oxígeno	O ₂	20.94	23.128	299.00	1.428
Argón	Ar	0.934	1.287	16.65	1.7826
Anh. Carbónico	CO ₂	0.0315	0.4 x10 ⁻⁶	0.62	1.964
Otros		0.145	0.0178	0.23	-

Fuente. Soler & Palau (2009)**Aire de mina**

Es la denominación del aire presente en las labores subterráneas, se trata del aire atmosférico que al ingresar sufre de alteraciones en su composición. Compuesto por aire atmosférico añadido de gases nocivos, aire muerto (mezcla de anhídrido carbónico del 5% al 15% y nitrógeno del 85% al 95%) y polvo en suspensión. (Troncoso, 2005).

Este aire al circular por las labores subterráneas sufre alteraciones en su composición por la respiración de las personas, voladura, tránsito y operación de equipos. Estas alteraciones varían según la zona por donde circule el aire, si las alteraciones son mínimas, se puede considerar como aire limpio, mientras que si este aire tiene altas variaciones en su composición se describe como aire viciado o de retorno. (Ramon, s/f).

Respiración humana

Es una de las principales actividades instintivas del ser humano, es la entrada y la salida de aire de los pulmones, permite llevar oxígeno a la sangre y eliminar el anhídrido carbónico, este anhídrido carbónico en ciertas concentraciones produce trastornos graves en la salud. El ritmo y volumen de la respiración aumenta con la actividad física del trabajador (Tabla 2). (Ramon, s/f).

Tabla 2

Ritmo respiratorio, inhalación de aire, consumo de O₂ y CR por actividad

Actividad	Reposo	Moderado	Muy vigorosa
Ritmo respiratorio por minuto	12-1	30	40
Aire inhalado por respiración	5-13	46-59	98
Oxígeno consumido en (m ³ /s x 10 ⁻⁶)	4.70	33.04	47.2
Cociente respiratorio "CR"	0.75	0.90	1

Fuente. McPherson (2009)

Cociente respiratorio

Es un índice que relaciona el anhídrido carbónico expelido y el oxígeno consumido, permite tener un índice sobre el esfuerzo que hace el organismo humano. Cuando este cociente aumenta a la unidad significa que el esfuerzo que está realizando la persona está en aumento, no obstante, si el cociente se aleja de la unidad establece que la persona está en reposo como se muestra en la Tabla 2. (Troncoso, 2005).

Gases en mina

Son concentraciones gaseosas que se encuentran en las labores mineras debido al uso de explosivos, descomposición de sustancias orgánicas, combustión espontánea, incendios, reacciones químicas de los minerales y la combustión incompleta por el uso de equipos

mecanizados. El riesgo por intoxicación o gaseamiento es un riesgo típico en la minería subterránea, cualquier gas toxico que exceda de los limites permisibles puede causar accidentes y afectar la salud de las personas. (McPherson, 2009).

El nivel de peligrosidad de los gases presentes en la minería subterránea depende de tres factores principales: toxicidad por la composición química de la misma, concentración que refiere a la cantidad de gas tóxico presente en el medio y tiempo de exposición referido al lapso en el que la persona estuvo expuesta. (Ramon, s/f).

Clasificación de gases de mina

- Gases Asfixiantes: Por su propio nombre, producen una disminución de oxígeno en el aire, debido a que ocupan el volumen de éste.
- Gases Tóxicos: No solo provocan una disminución de oxígeno, sino que penetran primero a los pulmones y luego al resto del organismo.
- Gases Explosivos: Son aquellos que producen efectos nocivos, como intoxicación, envenenamiento, destrucción de los tejidos, alteración de órganos y en última instancia la muerte; estos gases tienen la característica particular que cuando son mezclados con el aire pueden en presencia de un iniciador ocasionar una explosión. (Oportus, 2022).

Origen de los gases de mina

- Fuegos y explosiones: Generalmente es incompleta, puede producir monóxido de carbono, metano y otros gases;
- Gases de estratos: El metano es el más común por su formación en conjunto a depósitos carboníferos y petrolíferos. Libera 0.6 a 1.2 m³/min por m² de superficie fresca de carbón expuesta;

- Voladuras: Están presentes los agentes de voladura, la dinamita, ANFO, emulsiones que al detonar liberan humos compuestos de gases nitrosos, monóxido de carbono, dióxido de carbono;
- Máquinas de combustión interna: Liberan principalmente gases como el monóxido de carbono, dióxido de carbono, aldehídos, humos, metano y dióxido de azufre, la cantidad de impureza que libera varía según la condición mecánica y/o laboral;
- Respiración humana: La respiración de la persona genera la liberación de $47.2\text{m}^3/\text{s}$ de dióxido de carbono por cada trabajador;
- Baterías: Durante el proceso de carga, estos desprenden pequeñas cantidades de hidrógeno. (Troncoso, 2005).

Oxígeno, O_2

La gran mayoría de los seres vivos dependemos de este gas, representa el 21% del aire fresco atmosférico. Es incoloro, inodoro e insípido, el cual se difunde a las paredes de los alvéolos en los pulmones y forma oxihemoglobina en la sangre, que fácilmente se descompone para liberar oxígeno a todo el cuerpo (Troncoso, 2005).

La deficiencia del oxígeno puede darse por introducción de gas diluyente, desplazamiento de oxígeno, o la combinación de ambos, siendo la primera la más común. Las principales causas para su disminución es el proceso de oxidación lenta de materias orgánicas, desprendimiento de gases por rocas, incendios, respiración de personas, combustión de lámparas motores, etc. (McPherson, 2009).

El hombre respira normalmente el 21% de oxígeno (contenido normal en la atmosfera a nivel del mar), no obstante, su reducción afecta el rendimiento y funcionamiento de la propia persona atentando contra la salud y la vida de esta.

Tabla 3*Efectos de la deficiencia de Oxígeno*

Porcentaje de oxígeno en el aire (%)	Efectos
19	Altura de la llama de una lampara de seguridad reducida en un 50%.
17	Incremento observable en la frecuencia y profundidad de respiración. Equivale a 2500 msnm.
16	Llama de la lámpara extinguida.
15	Mareos, zumbido en oído, aumento del ritmo cardiaco.
9-13	Desorientación, desmayo, náuseas, dolor de cabeza.
7	Coma, convulsiones y peligro de muerte. Equivale a 8800 msnm.
Por debajo de 6	Muerte.

Fuente. McPherson (2009)

Nitrógeno, N₂

Es un gas incoloro, inodoro e insípido levemente más ligero que el aire, que, al respirar asfixia al ser humano de manera similar al agua, su detección se hace de forma indirecta detectando el porcentaje de oxígeno en el aire. Al ser levemente más liviano que el aire, ocasiona su concentración en las partes más altas de la labor. (McPherson, 2009).

Metano, CH₄

Es un gas producido por la acción bacteriana y química del material orgánico, su formación se dio en conjunto a la del carbón y el petróleo, se encuentra retenido en los estratos, oquedades y fracturas de las rocas. Este gas no es tóxico, pero es altamente peligroso debido a su alto nivel de inflamabilidad ya que con el aire forma una mezcla explosiva (gas grisú), su baja densidad le permite formar lagunas o capas en el techo que puede redirigirse hacia las fuentes de ignición.

Este gas por sí solo no tiene hedor, pero está acompañado de trazas de gases de hidrocarburos más pesados en serie que tienen un aroma aceitoso característico (McPherson, 2009)

Dióxido de carbono, CO₂

El CO₂ es el resultado final de la combustión completa del carbono, tiene un peso específico de 1,53 respecto del aire. Incoloro e inodoro, pero con un sabor ligeramente ácido soluble en agua. Tiene muchas fuentes de origen, ya sea por la emisión de estratos, oxidación de materiales carbonoso, motores de combustión interna, incendio, explosiones y la propia respiración. (McPherson, 2009).

Es un tipo de gas asfixiante, se acumula en zonas abandonas y provistas de ventilación. Al reemplazar al oxígeno de la atmósfera, exige una mayor ventilación de los pulmones, lo que ocasiona una respiración más rápida y profunda y, en concentraciones muy altas, la muerte por asfixia. (Herrera, 2019).

Tabla 4*Efectos fisiológicos del dióxido de carbono*

Porcentaje de dióxido de carbono en el aire (%)	Efectos
0.037-0.38 ²	Concentración normal de dióxido de carbono en el aire.
0.5	La ventilación pulmonar aumenta en 5%.
2.0	La ventilación pulmonar aumenta en 50%.
3.0	Mareos, zumbido en oído, aumento del ritmo cardiaco.
5 a 10	Jadeo violento que conduce a la fatiga por cansancio, dolor de cabeza.
10 a 15	Jadeo intolerable, dolor de cabeza severo, colapso y agotamiento.

Fuente. McPherson (2009)**Monóxido de carbono, CO**

Es un gas formado por la combustión incompleta del material carbonoso, incoloro, inodoro e insípido de densidad muy próxima a la del aire. Se quema con una llama azul y tiene un rango de inflamabilidad alto (12.5 a 74.2) con una explosividad máxima de 29%, por lo que es causante de más del 90% de los casos fatales en incendios de mina.

El monóxido de carbono es altamente toxico y su gran facilidad para mezclarse con las corrientes de aire lo hace uno de los gases más peligrosos. La afinidad del monóxido de carbono y la hemoglobina es de 250 a 300 veces mayor que con el oxígeno, por lo que una persona al inhalar monóxido de carbono se combinará con la hemoglobina formando un compuesto estable y de difícil descomposición llamado carboxihemoglobina (CO. Hb), que provoca la pérdida de

capacidad de admisión de oxígeno en los glóbulos rojos ocasionando la muerte de la persona. (McPherson, 2009).

Tabla 5

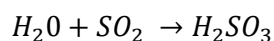
Reacciones fisiológicas al monóxido de carbono

Porcentaje de saturación de la sangre CO. Hb (%)	Reacción
5-10	Posible pérdida leve de concentración.
10-20	Sensación de opresión en la frente, dolor de cabeza leve.
20-30	Dolor de cabeza fuerte, juicio deteriorado.
30-40	Dolor de cabeza severo, mareos, desorientación, visión atenuada, náuseas, posible colapso.
40-60	Mayor probabilidad de colapso, se eleva las tasas de pulso y respiración, convulsiones.
60-70	Coma, pulso y respiración deprimida, peligro de muerte.
70-80	Muerte.

Fuente. McPherson (2009)

Dióxido de azufre, SO₂

Es un gas incoloro, de sabor ácido y de alta densidad (2.26 Kg/m³). Su alta solubilidad en el agua lo hace un gas de carácter sofocante ya que causa ardor intenso en los ojos y en las vías respiratorias mediante la formación de ácido sulfuroso. Su presencia es poco común en las minas y cuando está presente generalmente es en cantidades insignificantes.



Su formación se da por la combustión incompleta de los motores de los equipos y oxidación de minerales de sulfuro como esfalerita, blenda o piritas de hierro. (McPherson, 2009).

Tabla 6

Reacciones fisiológicas al dióxido de azufre

Concentración de dióxido de azufre (ppm)	Reacción
1	Sabor ácido
3	Detectable por el hedor.
20	Irritación de los ojos y vías respiratorias.
50	Sensación de ardor intenso en los ojos, nariz y garganta colapso
400	Peligroso para la vida

Fuente. McPherson (2009)

Óxidos de nitrógeno, NO_x

Estos óxidos se presentan bajo diferentes formulaciones, N_2O , NO_2 , N_2O_2 , N_2O_3 y N_2O_5 , son gases que raramente se presentan separados y en elevadas proporciones son de color rojizo y de olor acre. El peso específico del NO es 1.02 y el del NO_2 es 1.58 con respecto al aire, este último es un gas fácilmente soluble en el agua y a su vez el más tóxico.

Se forman por combustión retardada en los procesos de voladura, específicamente cuando se emplea ANFO. Causan irritación y a concentraciones más altas efectos corrosivos en los ojos y vías respiratorias, tienen un comportamiento engañoso, una persona puede recuperarse aparentemente y después sufrir de una bronconeumonía aguda. (McPherson, 2009).

Tabla 7*Reacciones fisiológicas del dióxido de nitrógeno (ppm)*

Concentración de dióxido de nitrógeno (ppm)	Reacción
40	Detectable mediante el olor.
60	Irritación leve en la garganta.
100	Tos, irritación de los ojos y vías respiratorias.
150	Incomodidad severa, que puede provocar neumonía.
200	Peligroso de muerte.

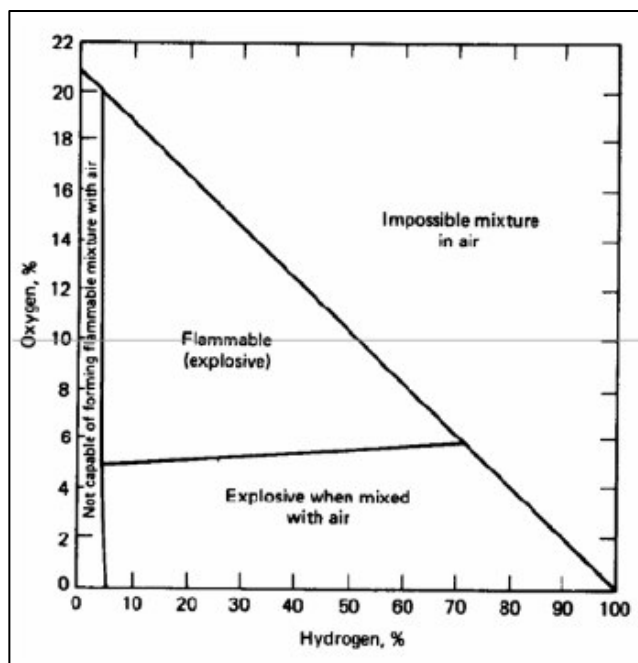
Fuente. McPherson (2009)**Hidrogeno, H_2**

Es un gas asfixiante, incoloro, inodoro e insípido, de densidad menor a la del aire. Es el gas más explosivo de todos los gases de mina con un alto rango de inflamabilidad de 4 a 74% en el aire, puede encenderse por una llama baja y con la mitad de energía necesaria para activar el metano. Su presencia no es muy común, aunque ocasionalmente puede aparecer en los estratos, además se pueden producir acumulaciones peligrosas de hidrogeno en los lugares donde se tiene carga de baterías, la densidad baja tiende a elevarla al techo, por lo que se recomienda la realización de galerías de retorno en el techo (McPherson, 2009).

La Figura 1 muestra la inflamabilidad y explosividad del hidrogeno al mezclarse con el aire.

Figura 1

Explosividad del hidrógeno



Fuente. McPherson, 2009

Ácido sulfhídrico, H_2S

Tiene la característica principal de ser detectable por su olor a huevo podrido, en ingles lleva el nombre coloquial de "Stinkdamp" que significa vapores apestosos. Es un gas sin color, de gusto azucarado, más denso que el aire, con un peso específico de 1.19 kg/m³, que arde y forma una mezcla explosiva cuando su concentración llega a 6%. (McPherson, 2009).

Su toxicidad es más alta que la del monóxido de carbono y tiene un efecto narcótico sobre el sistema nervioso, provoca la paralización de los nervios olfativos haciendo que después de una breve exposición uno ya no pueda prevenirse del sentido del olfato, además, una víctima

que aparentemente se rehace de la intoxicación por ácido sulfhídrico puede quedar con conjuntivitis y bronquitis a largo plazo.

Se origina por el calentamiento de minerales, combustión incompleta de voladuras y de manera natural se forma por la descomposición bacteriana o química de compuestos orgánicos, debido a su solubilidad en el agua puede ser percibido en charcos o acumulaciones de agua estancadas en la mina que al ser removidas deja libre dicho gas. (McPherson, 2009).

Tabla 8

Reacciones fisiológicas del ácido sulfhídrico

Concentración de ácido sulfhídrico (ppm)	Reacción
0.1-1	Detectable mediante el olor.
5	Inicio de toxicidad.
50 a 100	Irritación de ojos y vías respiratorias, dolor de cabeza, pérdida de hedor después de 15 minutos.
200	Irritación intensa en nariz y garganta.
500	Inflamación grave de los ojos, secreciones nasales, tos, palpitaciones.
600	Dolores en el pecho debido a la corrosión e las vías respiratorias.
700	Depresión, peligro de muerte.
1000	Parálisis del sistema respiratorio, muerte.

Fuente. McPherson (2009)

Toxicidad

Es la propiedad de una sustancia de ocasionar un efecto no deseado en el organismo de una persona cuando llega a ciertas concentraciones. (Troncoso, 2005).

Las sustancias toxicas son gases, líquidos o sólidos; que por sus propiedades químicas al estar en exposición al medio interno y metabolizarse, pueden generar daños o lesiones en el organismo, daños progresivos y en algunos casos la muerte.

Polvo de mina

Termino usado para referenciar las partículas sólidas. Es un conjunto de material particulado que se encuentra en el aire, paredes, techo y piso de las labores mineras; al encontrarse en el aire forma un sistema disperso llamado “aerosol” cuya permanencia depende de la forma, finura, peso específico, velocidad de movimiento, humedad y temperatura.

Estas partículas se depositan en los pulmones produciendo “neumoconiosis”, que produce déficit de la capacidad pulmonar y en grado severo puede causar la muerte. Si el material es sílice se denomina “silicosis”. (Oportus 2022).

Tamaño del material particulado

El polvo tiene formas muy variables que dependen en gran medida de los componentes minerales predominante. El polvo con más de 10 micras de diámetro es visible y no se mantiene en suspensión, por otro lado, los polvos industriales y mineros tienen un rango promedio de 0.5 a 3 micras, estos, que son menores de 10 micras, son de gran consideración en la higiene industrial pues son perjudiciales e invisibles, están suspendidos en la atmosfera y no se puede esperar su asentamiento, llamados polvos respirables. (Ramon, s/f).

Tabla 9*Rangos de tamaño de los aerosoles comunes*

Tipo de aerosol	Rango de tamaños en micras 10^{-6} m	
	Inferior	Superior
Polvo respirable	-	7
Carbón y otros polvos de roca	0.1	100
Polvos atmosféricos normales	0.001	20
Partículas Diesel	0.05	1
Viruses	0.003	0.05
Bacterias	0.15	30
Humo de tabaco	0.01	1
Pólenes que causan alergia	18	60
Niebla	5	50
Bruma	50	100
Llovizna ligera	100	400

Fuente. McPherson (2009)***Clasificación de polvo y reacción fisiológica***

- Relativamente inertes: Producen incomodidades e irritaciones menores, mármol, calcita, yeso;
- Productores de fibrosis pulmonar: Producen nodulaciones y fibrosis en los pulmones, cuarzo, asbesto, radón;

- Productores de cáncer: Producen luego de 20 a 30 años de latencia, son el asbesto, cromato, diésel, partículas radioactivas: uranio, radio, torio;
- Irritantes químicos: Producen irritaciones, inflamaciones, ulceraciones, se encuentran en las neblinas ácidas y alcalinas;
- Envenenamiento sistemático: Producido en diferentes partes del cuerpo, son Pb, Mn, Cd, As;
- Productores de alergia: Producen picazón, estornudos, asma, se encuentran en polen, isocianatos, cauchos;
- Productores de fiebre: (Zn, Cu). Producen escalofríos, fiebre. (Oportus, 2022).

Medidas de control de gases y polvos

Existen 5 tipos de acciones para mantener el control de gases y polvos generados en las labores subterráneas. (Oportus, 2022).

Prevención

Modificar operaciones o mejorar prácticas de trabajo con la reducción de formación de polvo y gases.

Eliminación

Limpieza de labores para eliminar el polvo asentado, depuración de aire con colectores o captadores de polvo.

Supresión

Infusión con agua o vapor previo arranque, apaciguamiento con rociadores de espuma o agua. Tratamiento de polvo asentado con productos químicos que absorban la humedad del aire.

Aislamiento

Realización de voladuras restringidas y con personal fuera del ambiente, encerramiento de labores generadoras de polvo, sistema de aireamiento local.

Dilución

Para lograr la dilución de gases y/o polvo generado en las operaciones de mina se emplea ventilación principal y cuando sea necesario por ventilación auxiliar.

Monitoreo de gases

Consiste en el control de presencia de gases, en las minas se necesita tener un monitoreo constante de presencia y nivel de concentración de gases para evitar accidentes por gaseamiento, para lo cual se emplean equipos de detección de gases. Son dispositivos que determinan la concentración de gases inflamables, tóxicos y enriquecimiento o deficiencia de oxígeno, que por medio de una pantalla y alarma permiten controlar y alertar cuando los distintos gases exceden de los límites máximos permisibles en base a normas internacionales o propuestas por el usuario, entre los equipos más comunes están los detectores multigas Altair, equipos Dragger, equipos 3M. (Rumbo minero,2020).

2.2.2. Propiedades físicas del aire

Caudal

Es la cantidad de flujo de aire que pasa por una determinada sección de un conducto en la unidad de tiempo. Se determina mediante el producto del área por donde pasa el aire y la velocidad del aire, como se describe en siguiente expresión matemática. (Vejarano, 2000).

$$Q = V \times A$$

- Q = Caudal (m^3/min o CFM)
- V = Velocidad del aire (m/s o m/min)
- S = Sección de la labor (m^2 o ft^2)

Presión

Al circular el aire, este necesita de una determinada fuerza que la empuje. Esta fuerza, por unidad de superficie, es lo que se llama Presión. Existen 2 tipos de presión. (Soler & Palau, 2009)

Presión estática, P_e

Es aquel flujo de aire, cuyo desplazamiento, circula en todas las direcciones sobre las paredes del cuerpo.

Presión dinámica, P_d

La presión dinámica es aquella que acelera el aire desde una velocidad 0 a una velocidad estable, su movimiento se manifiesta en la misma dirección.

Presión total, P_t

Es la presión que se ejerce sobre un cuerpo compuesta por la suma de presiones estática y dinámica. (Soler & Palau, 2009)

$$P_t = P_e + P_d$$

Temperatura

Es una magnitud que indica en un valor numérico una idea de calor o frío, si la temperatura es mayor entonces existe mayor calor en el ambiente medido. Para su medición se usan termómetros ordinarios, psicrómetros, termohigrómetros, medidores de resistencia variable con coeficientes de temperatura, anemómetros térmicos, etc. El uso de estos equipos permite la medición de 2 tipos de temperatura: Seca y húmeda. (McElroy, 1935)

- Temperatura seca, aquella medida con un termómetro mercurial ordinario, no considera la humedad relativa ni la velocidad del aire.
- Temperatura húmeda, mide la temperatura generada al estar en contacto con el agua en estado líquido, influye en la retención de una cantidad mayor o menor de vapor de agua.

En las minas subterráneas el valor de la temperatura depende de muchos factores.

- Temperatura por el aire exterior, que entra por las bocaminas y tiene una influencia según la estación, si es verano la temperatura sería más caliente que si se estuviera en invierno;
- Influencia por calor de compresión, la temperatura del aire aumenta a medida que se va profundizando la mina debido a la compresión. La temperatura aumenta en $0.0098\text{ }^{\circ}\text{C}$ por cada metro de profundidad, esto es por cada 1000m de profundidad un aumento de 10°C ;
- Temperatura de la roca, es aquella que tiende a calentar el aire durante su recorrido a través de estas, el nivel de aumento de temperatura varía según la composición de la roca, presencia de agua, etc.;
- Procesos químicos como la oxidación de pirita, carbón y la putrefacción de maderas;
- Evaporación de agua, es un tipo de enfriamiento no deseado provocado por procesos endotérmicos, aumenta la humedad relativa volviendo las condiciones de la mina insoportables;
- Velocidad de aire, afecta el rendimiento del trabajador, el aire en movimiento permite la eliminación del calor producido desde su piel al medio exterior. (Díaz,2019).

Peso específico del aire

Es la relación del peso del aire por unidad de volumen, el estándar en la ventilación de minas es de 1.2 Kg/m³, es el peso del aire en 1m³ de aire, a presión de 1 atm y temperatura de 15°C y humedad de 60%, este valor permite indicar la influencia el peso de un gas como más liviano o pesado que el aire. (Claverias, 2014).

2.2.3. Relaciones de flujo incomprensible

Ley cuadrática

Es probablemente la ecuación más ampliamente usada en la ventilación de minas. Establece que el parámetro R gobierna la cantidad de flujo de aire Q que pasará cuando en los extremos de una galería o conducto exista un diferencial de presión H. (McPherson, 2009).

$$H = RQ^2, \quad Pa$$

- H: Caída de presión
- R: Resistencia
- Q: Caudal

Ley de Atkinson

En su ecuación establece al parámetro R al que se le denomina la resistencia de Atkinson de la galería o conducto, depende de la longitud de la labor, perímetro, área de la sección transversal y rugosidad que varía solo con el revestimiento de la galería o conducto llamado factor de fricción, como se detalla en la siguiente ecuación. (McPherson, 2009).

$$R = kL \frac{per}{A^3}; \frac{Ns^2}{m^8} \text{ o } \frac{Kg}{m^7}$$

- R: Resistencia (Kg/m⁷ o Ns²/m⁸)

- L: Longitud de cualquier conducto o galería (ft o m)
- Per: Perímetro (ft o m)
- A: Área de la sección transversal (ft² o m²)
- k: Factor de fricción (lb_f min² /ft⁴ x 10⁻¹⁰ o kg/m³)

Factor de fricción

El factor de fricción es un valor que describe a la rugosidad como una influencia importante en la resistencia del conducto que también influye en la tasa de transferencia de calor entre la roca y corriente de aire. Esta depende del tipo de roca, método de voladura, control de la dimensión de la sección y del terreno. Se determina combinando la ley cuadrática y la ecuación de Atkinson como se señala en la siguiente expresión. (McPherson, 2009).

$$k = \frac{H \cdot (52)A^3}{Q^2 L Per}; \quad \frac{lb_f min^2}{ft^8 x 10^{-10}}$$

- K: Factor de fricción (lb_f min² /ft⁴ x 10⁻¹⁰ o kg/m³)
- A: Área de la sección transversal (ft² o m²)
- Q: Caudal (CFM o m³/s)
- L: Longitud de cualquier conducto o galería (ft o m)
- Per: Perímetro (ft o m)
- H: Caída de presión ("H₂O o Pa)

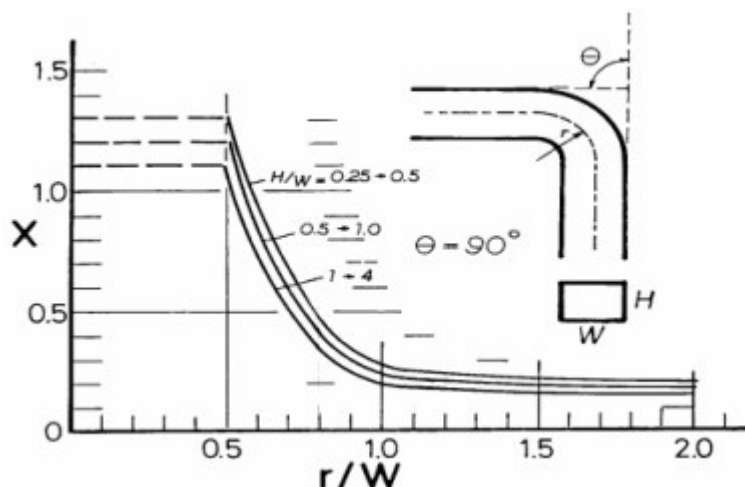
Pérdidas por choque

Es el aumento de resistencia que se origina cuando al circular el aire por una curva, unión, cambio de dirección, obstrucción o regulador se crean vórtices o remolinos que consumen energía mecánica, lo cual aumenta significativamente la resistencia del conducto.

La Figura 2 muestra que las curvas cerradas causan perdidas por choque más altas que las curvas menos cerradas, esto indica que si se usará curvas de gradual transición la pérdida por choque se reduciría significativamente. (McPherson, 2009).

Figura 2

Factor de perdidas por choque



Nota. X es el factor de pérdida por choque que depende de la relación entre el radio de giro del conducto y su ancho del conducto. *Fuente.* (McPherson, 2009).

La resistencia por choque depende del factor de pérdida por choque y se determina mediante el empleo de la ecuación de la ley cuadrática obteniéndose la siguiente ecuación.

$$R_{shock} = b \frac{X\rho}{A^2}; \frac{Ns^2}{m^8}$$

- R_{SH} : Resistencia por choque (Kg/m^7 . o Ns^2/m^8)
- ρ : Densidad del aire (lb/ft^3 o kg/m^3)
- X : Factor de pérdida por choque (adimensional)
- B : 829.5 para unidades imperiales y 0.5 para SI.
- A : Área (ft^2 o m^2)

Caída de presión

El flujo de aire se genera por la diferencia de presión entre 2 puntos del sistema, esta diferencia de presión se logra agregando energía al sistema que se consumirá para poder superar la resistencia que las labores mineras presentan como oposición al paso de aire. Estas resistencias originan una caída o pérdida de presión llamada “H”, y se expresa en mmH₂O” o kg/m².

La caída de presión es la energía que se proporciona a un fluido en movimiento que, por medios naturales y mecánicos, se suministra íntegramente para vencer las pérdidas de presión. (Hartman, 1997)

$$H_t = H_f + H_x$$

- H_t: Caída de presión total (Pa o in H₂O”)
- H_f=Caída de presión por fricción (Pa o in H₂O”)
- H_x =Caída de presión por choque (Pa o in H₂”)

Resistencia de conducto de aire

Es un valor que describe la dificultad u oposición al paso de aire por un conducto, varía según perdidas por choque o fricción. Numéricamente es una constante proporcional que relaciona la caída de presión friccional H y el cuadrado de la cantidad de flujo de aire, Q. (McPherson, 2009).

2.2.4. Sistema de ventilación

Es el conjunto de elementos (tabiques, sellos, puertas, reguladores, ventiladores, mangas, etc.) que cumplen la función de circular por el interior de una mina subterránea una determinada cantidad de aire necesaria para mantener una atmosfera respirable para los colaboradores, uso óptimo de equipos y la evacuación de aire viciado. Para que exista un flujo de aire en una mina subterránea, debe existir cierta cantidad de energía que pueda superar las perdidas, estas fuentes de energía capaces de superar las pérdidas son las naturales y las mecánicas. (McPherson, 2009).

Ventilación natural

Es aquella que existe cuando hay un intercambio de energía térmica producida por la diferencia de energía del aire que entra a mina y la temperatura de la roca, este intercambio de energía al ser capaz de vencer las perdidas por fricción y choque produce una corriente de aire permanente. (Toranzo, 2023).

Durante el invierno la temperatura es más baja en el exterior que en interior mina y viceversa en verano. La columna de aire frio tiene la característica de ser más denso que la columna de aire caliente por la cual el aire frio desplazará al aire caliente ya que la dirección del flujo de aire siempre es desde la columna más pesada a la más liviana. (Oportus, 2022)

Entre los distintos factores que determinan la ventilación natural son las siguientes.

- Altitud
- Gradiente geotérmico
- Conductividad térmica
- Condiciones medioambientales
- Diferencia de cotas

- Fuentes de generación de calor

Ventilación mecánica o forzada

Es aquella en la que el aire por condiciones naturales no puede desplazarse hasta un determinado lugar, por lo que se toma desde un lugar donde existe una corriente de aire y se impulsa hacia las determinadas labores de la mina empleando ventiladores. (Toranzo, 2023).

Tipos de sistema de ventilación

Ventilación principal

Es aquella en la que el aire se capta desde superficie y se lleva a las labores principales de la mina, por estos circuitos circula el 100% de aire de la mina, tanto de ingreso como de salida. Los ventiladores que se emplean son de grandes caudales según el requerimiento de aire y extensión de la mina. (Toranzo, 2023).

Ventilación secundaria

Es aquella en la que el aire se capta del circuito principal y se distribuye a determinadas zonas de la mina. Los ventiladores empleados para este sistema son de caudal intermedio, menores a los caudales de la ventilación principal. (Toranzo, 2023).

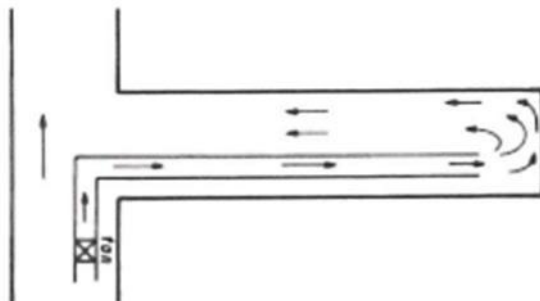
Ventilación auxiliar

Es aquella en la que se ventila una labor específica o frente de avance, su rasgo más característico es el empleo de ventiladores y mangas de ventilación. El sistema de ventilación auxiliar puede ser de 3 tipos. (Toranzo, 2023).

- Impelente, en la cual el aire es impulsado por una manga de ventilación hacia el frente de la labor, la masa de aire viciado es desplazado por la corriente de aire a través de la galería. (Figura 3).

Figura 3

Sistema de ventilación auxiliar impelente

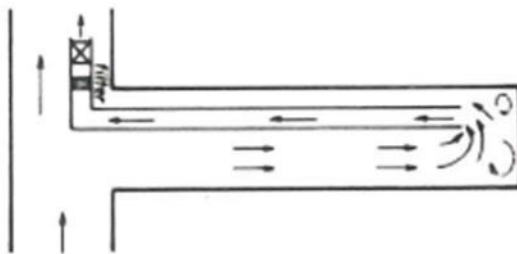


Fuente. Ingeniería de ventilación subterránea (McPherson, 2009)

- Soplante, en la cual el aire viciado se extrae por una manga de ventilación del frente de la labor y sale hacia la galería de desarrollo. (Figura 4).

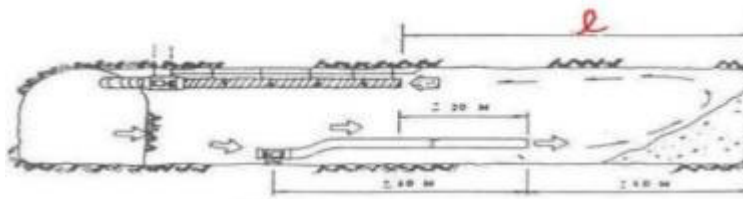
Figura 4

Sistema de ventilación auxiliar de extracción



Fuente. Ingeniería de ventilación subterránea (McPherson, 2009)

- Mixto, un método que combina los dos sistemas mencionados previamente, consiste en la impulsión de aire fresco al frente de avance y a su vez la extracción del aire viciado. (Figura 5).

Figura 5*Sistema de ventilación auxiliar mixto**Fuente. Ventilación de minas (Oportus, 2022)*

2.2.5. Red de sistema de ventilación

El objetivo principal de analizar las redes de ventilación es establecer una distribución de flujo de aire en los ramales y determinar resistencias equivalentes. Para analizar las distintas redes de ventilación se emplean métodos analíticos como resistencias equivalentes, aplicación de las leyes de Kirchhoff y métodos numéricos. (McPherson, 2009).

Resistencias equivalentes

Es el método más elemental en el análisis de redes de ventilación ya que en todo sistema es posible la combinación de redes ya sea en paralelo o en serie. Se evalúa el tipo de conexión que tienen los ramales para poder determinar una resistencia equivalente. (McPherson, 2009).

Circuitos en serie

Los circuitos en serie se caracterizan por tener las labores subterráneas unidas en sus extremos de modo que la cantidad de aire que fluye por el conjunto de conductos sea el mismo. (Hartman, 1997).

La caída de presión total o equivalente será la misma en todos los tramos individuales. Por otro lado, la R_T es la resistencia total o equivalente del sistema en serie, y se define como la suma parcial de las resistencias individuales.

$$Q_T = Q_1 = Q_2 = Q_3 = \dots = Q_N$$

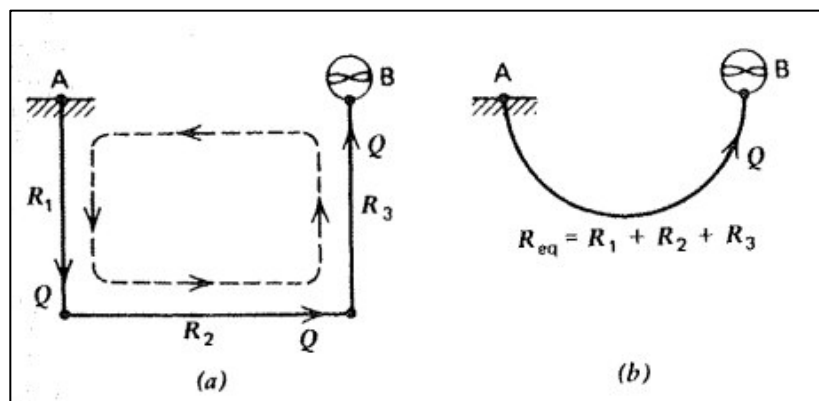
$$H_T = H_1 + H_2 + H_3 = \dots = H_N$$

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_N$$

- Q: Caudal de aire (CFM o m³/s)
- H: Caída de presión (in H₂O" o Pa)
- R: Resistencia del conducto (P.U. o Ns²/M⁸)

Figura 6

Circuito en serie



Fuente. Ventilación de minas y condiciones de aire (Hartman, 1997)

Circuitos en paralelo

Los circuitos en paralelo se presentan cuando el flujo de aire al llegar a 1 nodo se divide en otras labores subterráneas por donde fluye el aire. Cuando el caudal de aire pasa por el nodo divide su caudal y circula por las demás labores subterráneas. La caída de presión total o

equivalente será igual en todas las labores por donde circulará el aire. La ecuación de resistencia total o equivalente se obtiene de la ley cuadrática y es la suma de raíces de las inversas de la resistencia de cada tramo. (Hartman, 1997).

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_N$$

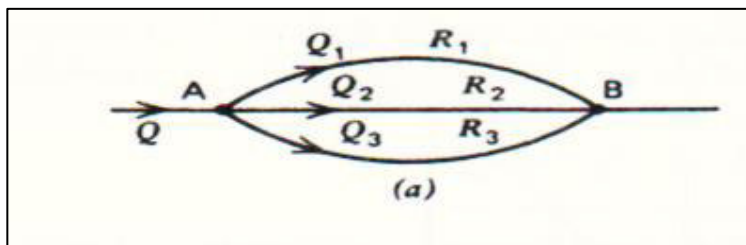
$$H_T = H_1 = H_2 = H_3 = \dots = H_N$$

$$\frac{1}{\sqrt{R_T}} = \frac{1}{\sqrt{R_1}} = \frac{1}{\sqrt{R_3}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{R_N}}$$

- Q: Caudal de aire (CFM o m³/s)
- H: Caída de presión (in H₂O" o Pa)
- R: Resistencia (P.U. o Ns²/m⁸)
- H_T: Caída de presión de N conductos (in H₂O" o Pa).
- Q_T: Caudal de N conductos (CFM o m³/s).
- R_T: Resistencia equivalente de N conductos. (P.U. o Ns²/m⁸)

Figura 7

Circuito en paralelo



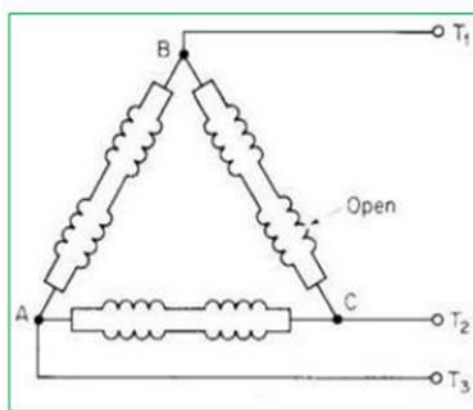
Fuente. Ventilación de minas y condiciones de aire (Hartman, 1997)

Circuito mixto

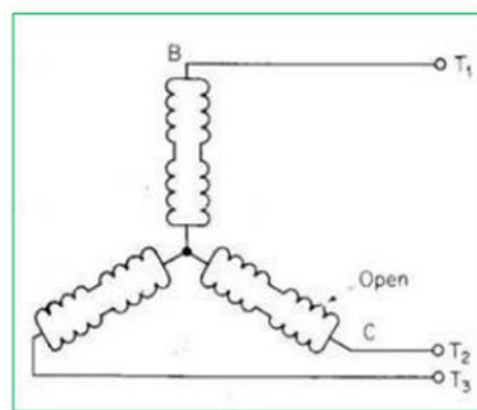
Otro tipo de circuito de ventilación son los circuitos mixtos, comprende 3 ramales de ventilación y se presentan de tipo estrella cuando los 3 tramos se conectan por un nodo y de tipo triangulo cuando los 3 ramales se conectan formando un triángulo. (Oportus.2022).

Figura 8

Circuito tipo triángulo y estrella



Triángulo



Estrella

Fuente. Ventilación de minas (Oportus, 2022)

Aplicación directa de la ley de Kirchhoff

El físico francés Gustav R. Kirchhoff estableció las relaciones que gobiernan el comportamiento de la corriente eléctrica, estas leyes de Kirchhoff también se aplican a redes de fluidos en la ventilación. Consiste en la aplicación directa de la primera y segunda ley de Kirchhoff para poder determinar el caudal de los ramales de ventilación. (Hartman, 1997).

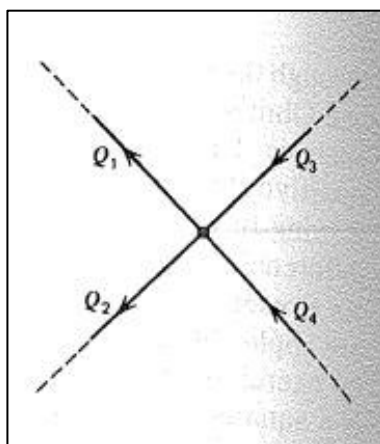
Primera ley de Kirchhoff

Establece que el flujo de aire que circula y llega a una unión de varios ramales debe ser equivalente a la misma cantidad de aire que sale de dicha unión. (Hartman, 1997).

$$Q_1 + Q_2 - Q_3 - Q_4 = \sum Q = 0$$

Figura 9

Primera ley de Kirchhoff

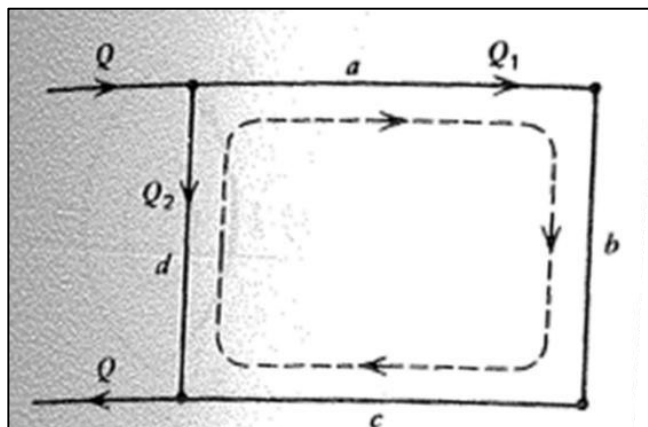


Fuente. Ventilación de minas y condiciones de aire (Hartman, 1997)

Segunda ley de Kirchhoff

Determina que la suma algebraica de todas las caídas de presión que existen en un circuito cerrado, es decir que recorren la dirección de un bucle, la red resultante deberá ser igual a 0 habiendo considerado la presión natural y la de los ventiladores. (Hartman, 1997).

$$H_a + H_b + H_c + H_d = \sum H = 0$$

Figura 10*Primera ley de Kirchhoff**Fuente. Ventilación de minas y condiciones de aire (Hartman, 1997)***Métodos numéricos**

El empleo de métodos analíticos está relacionando al nivel de grado de la ecuación, puesto que, a mayores ramales, la ecuación se vuelve más compleja de resolver. Para lo cual, se emplean programas computarizados que resuelven redes de ventilación empleando métodos numéricos de aproximaciones sucesivas. (McPherson, 2009).

Método de Hardy Cross

Consiste en considerar un flujo de aire Q a través de un conducto de una resistencia R en la cual se cumple la siguiente expresión cuadrática.

$$\Delta Q P = R Q^2$$

El valor de ΔQ es el error existente de un Q_a asumido, se debe encontrar el verdadero caudal de aire en nuestro ramal representativo, Q .

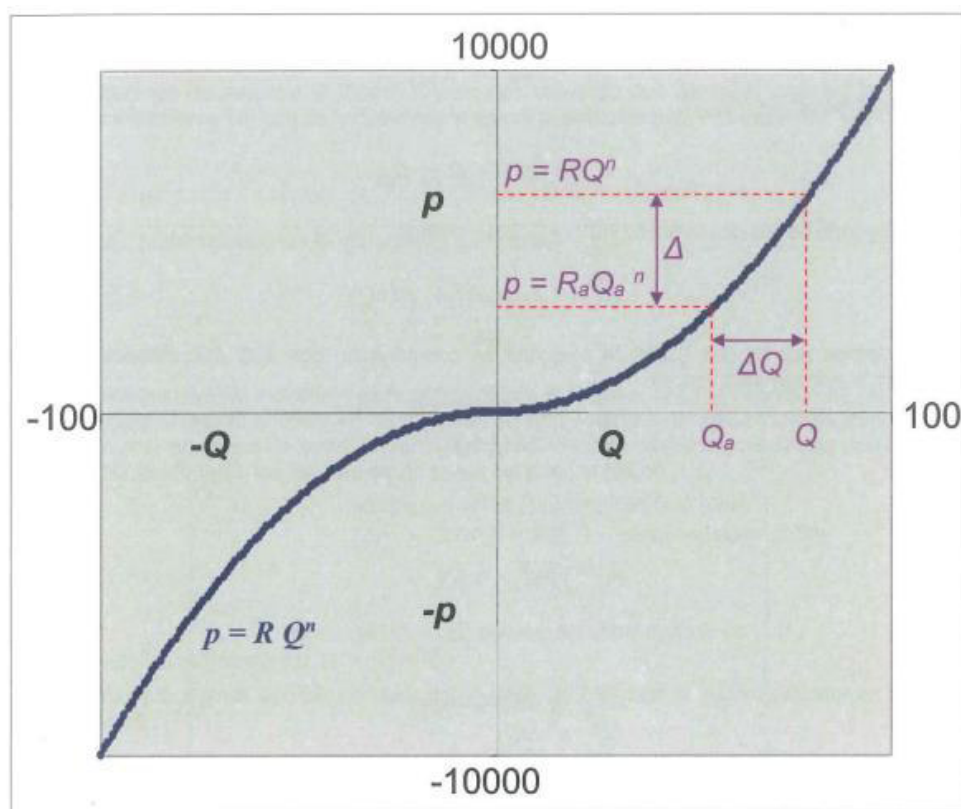
$$Q = Q_a + \Delta Q$$

El ΔQ representa el error cometido al asumir un valor de Q que no es verdadero, por consiguiente ΔP sería el error en el cálculo de la caída de presión real P , por lo tanto, el objetivo está en determinar el valor de la corrección de ΔQ que se aplicará a Q_a para encontrar el valor real Q .

La Figura 11 muestra la curva correspondiente a la ecuación $P=RQ^n$ que representa al caudal a lo largo del conducto a través del cual circula el fluido, llamándolo curva característica del sistema. (McPherson, 2009).

Figura 11

Curva de resistencia del sistema



Fuente. Ingeniería de ventilación subterránea (McPherson, 2009)

2.2.6. Ventiladores

Descripción

Los ventiladores son maquinas o dispositivos que utilizan la energía mecánica de un impulsor rotatorio y la transmite a un fluido produciendo un incremento de presión para mantener un flujo continuo de aire u otro gas. (McPherson, 2009).

Partes de un ventilador

Carcasa

Envolvente que protege al rodete y al motor, su material suele ser de acero de carbono, no obstante, según sea la exigencia se puede realizar el tratado de galvanizado en caliente. (Toranzo, 2023).

Rodete

Es la parte móvil de un ventilador, compuesto de los alabes y el soporte del ventilador llamado cubo, los alabes pueden ser de ángulo variable o no variable. (Toranzo, 2023).

Motor

Tiene la función de generar la energía necesaria para el funcionamiento del ventilador, su ubicación puede ser dentro, en la carcasa o fuera del ventilador según las condiciones del aire. (Toranzo, 2023).

Accesorios del ventilador

- Silenciador: Es una estructura cilíndrica que reduce los niveles de ruido emitidos por el ventilador;
- Cono de succión: Mejora la eficiencia de entrada de aire, reduce el nivel de ruido, minimiza la perdida de carga producida en la entrada del aire al ventilador;

- Difusor: Al estar colocado en la descarga del ventilador, reduce la presión dinámica del ventilador aumentando la recuperación de energía estática y su eficiencia;
- Malla protectora: Elemento desmontable que evita el paso de elementos no deseados que puedan dañar al ventilador. (Toranzo, 2023).

Tipos de ventiladores

Ventilador axial

Ventiladores de diseño aerodinámico, contienen un rodete alojado en una envolvente cilíndrica llamada carcasa, con alabes guía detrás del rotor. En estos tipos de ventiladores el aire circula a lo largo de las superficies cilíndricas coaxiales al ventilador, es decir entra y sale por el mismo eje lo que provoca el desgaste progresivo de los alabes al paso del aire. El ruido de estos ventiladores en funcionamiento supera los 100 db y a diferencia de los ventiladores centrífugos, estos tienen un límite de presión de trabajo sobre la cual pueden fallar. (Toranzo,2023)

Figura 12

Ventilador axial 80 000 CFM - Mina San Vicente



Fuente. Elaboración propia

Ventilador centrífugo

Son aquellos en los que el aire entra en el rodete con una trayectoria esencialmente axial y sale en dirección perpendicular, es decir el aire ingresa por un eje, se centrifuga y sale por otro eje, el ruido que genera supera los 90 db y su instalación requiere más obras civiles a comparación de la instalación de un ventilador axial. Por lo general se instalan en superficie y pueden tener altas presiones de funcionamiento sin dañar al ventilador A diferencia de los ventiladores axiales sus rodetes son más resistentes y de menor desgaste. (Toranzo,2023).

Figura 13

Ventilador centrífugo



Fuente. Ventilación de minas (Toranzo, 2023).

Potencia de ventilador

Para que el ventilador pueda transferir energía a un fluido y pueda producir un aumento de presión, requiere de una potencia ejercida por el motor, transmisión, impulsor, la cual depende del caudal, presión y rendimiento del ventilador. (McPherson, 2009).

$$Pot = \frac{Q \times p}{n} \times \frac{a}{b}$$

- P_{ot} : Potencia (KW o HP)
- Q: Caudal (m³/s o KCFM)
- p: Presión total de ventilador (KPa o in H₂O")
- n: Eficiencia del ventilador
- a: 1 en sistema internacional, 5.2 en sistema imperial
- b: 1 en sistema internacional, 33 en sistema imperial.

Leyes de un ventilador

El ventilador está diseñado para mover una determinada cantidad de aire a cierta presión constante según la necesidad que se tenga. El rendimiento está especificado como una serie de curvas de presión, eficiencia, potencia con respecto al caudal. Su forma en que afecta al volumen de aire movido, a la presión capaz de producir y la energía absorbida conforman las leyes de rendimiento de cualquier ventilador. (McPherson, 2009).

Tabla 10

Leyes del ventilador

Velocidad variable (n)	Diámetro variable (d)	Densidad del aire variable (ρ)
$P \propto n^2$	$P \propto d^2$	$P \propto \rho$
$Q \propto n$	$Q \propto d^3$	Q fijo
$Pow \propto n^3$	$Pow \propto d^5$	$Pow \propto \rho$

Nota. Pow = Potencia, P= Presión, Q= Caudal. P=Densidad del aire. *Fuente.* McPherson (2009).

Las leyes se aplican para simular y comparar el rendimiento de un ventilador y otro en base al diámetro, velocidad de rotación o a distintas densidades. Se debe cuidar que para la comparación de un ventilador con otro sea siempre y cuando ambos tengan la misma estructura geométrica, identificando a un ventilador con el subíndice a y otro ventilador con un subíndice b, para lo cual se emplea las siguientes expresiones. (Soler & Palau, 2009).

$$\frac{P_{ft,a}}{P_{ft,b}} = \frac{n_a^2}{n_b^2} \frac{d_a^2}{d_b^2} \frac{\rho_a}{\rho_b}$$

$$\frac{Q_a}{Q_b} = \frac{n_a}{n_b} \frac{d_a^3}{d_b^3}$$

$$\frac{P_{ow,a}}{P_{ow,b}} = \frac{n_a^3}{n_b^3} \frac{d_a^5}{d_b^5} \frac{\rho_a}{\rho_b}$$

- P_{ft} : Presión del ventilador
- Q : Caudal
- P_{ow} : Potencia del ventilador
- n : Velocidad de rotación
- d : Diámetro del rodete
- ρ : Densidad del aire

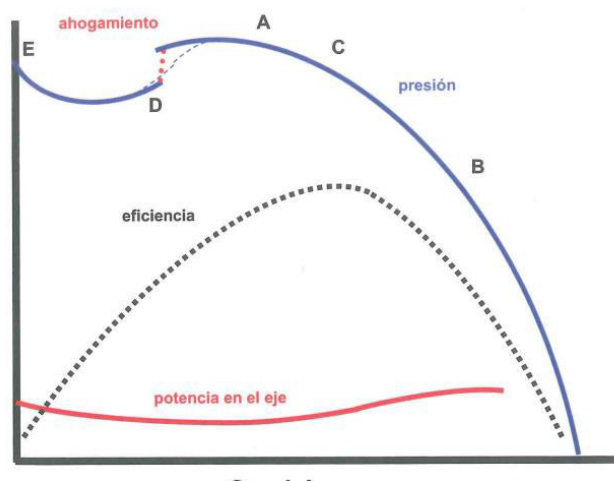
Curva característica de ventilador

Es un gráfico en la que los ejes de coordenadas están los distintos valores de caudal - presión obtenidos mediante ensayos de laboratorio. Para determinar las diferentes curvas del ventilador, se pone en operación a un régimen de giro constante tomando valores de diferentes caudales movidos según sea la pérdida de carga que deba vencerse. (Soler & Palau, 2009).

En síntesis, la curva característica es el lugar geométrico de los puntos de funcionamiento de este, en la que el punto de intersección de la curva del ventilador con la curva de resistencia se le llama punto de operación como se describe en la Figura 14. (Ramon, s/f).

Figura 14

Curva característica de un ventilador



Fuente. Ingeniería de ventilación de subterránea (McPherson, 2009)

Perfiles aerodinámicos

Hace referencia al rendimiento de un ventilador según el ángulo del alabe, cuando una superficie plana es sometida a un fluido en movimiento está se somete a una fuerza de arrastre, al variar el ángulo se origina una desviación en las líneas de corriente la cual produce una fuerza de elevación que varía según el ángulo de inclinación. Un ventilador de alabes fijos podría ser útil si la resistencia de la mina fuera relativamente constante, lo que rara vez se garantiza en la vida completa de un ventilador en la mina. Una de las formas de extender el rango de operatividad de un ventilador axial es mediante la variación de ángulo de alabes. Esta versatilidad añadida a los ventiladores axiales les da considerable ventaja sobre los ventiladores centrífugos, no obstante, se debe tener cuidado ya que ciertos ángulos de ataque pueden producir vórtices

turbulentos que originan vibración en el ventilador provocando posteriormente desgaste excesivo en los componentes de transmisión y falla en los alabes. (McPherson, 2009).

Costo de operación de ventilación

Los ventiladores convierten la energía eléctrica en potencia de aire mediante el uso del motor eléctrico, impulsor, transmisión. Por ello el consumo de energía tiene relación directa con la potencia ejercida del ventilador. Las cargas eléctricas se nombran en costo por Kilowatt-hora, por tanto, el costo de operar un ventilador continuamente debe ser multiplicado por 24 horas y en 365 días (1 año) como se expresa en la siguiente ecuación. (McPherson, 2009).

$$S_o = \frac{Q \times p}{1000 \times n} \times \frac{a}{b} \times e \times 24 \times 365$$

- S_o : Costo operativo de ventilador
- Q : Caudal (m³/s o KCFM)
- p : Presión total de ventilador (KPa o in H₂O")
- n : rendimiento del ventilador
- e : Costo de energía (\$/KWh)
- a : 1 en sistema internacional, 5.2 en sistema imperial
- b : 1 en sistema internacional, 33 en sistema imperial

Ventiladores en combinación

Ventiladores en serie

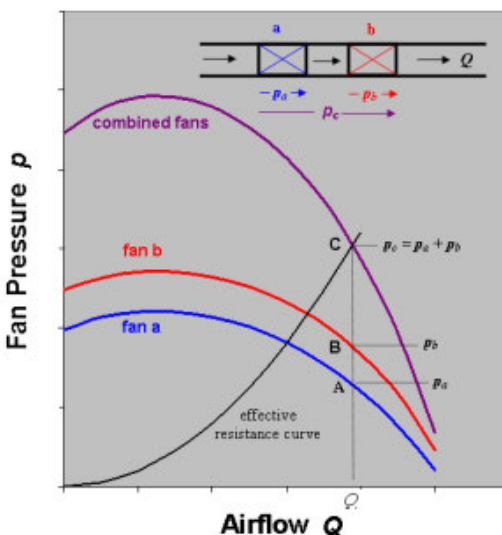
Dos o más ventiladores conectados en serie llevan el mismo caudal a través de cada ventilador y la presión total será la adición de las presiones parciales de cada ventilador conectado en serie.

La Figura 15 muestra la curva de 2 ventiladores a y b, ubicados dentro en un solo ducto o galería, la curva detalla las características de presión-volumen de aire y la curva de resistencia

efectiva. El punto de operación del sistema es el punto C, en la que la resistencia interseca la curva característica combinada, ambos ventiladores con el mismo caudal, pero desarrollan presiones p_a y p_b . (McPherson, 2009).

Figura 15

Curva característica para 2 ventiladores conectados en serie



Fuente. Ingeniería de ventilación de subterránea (McPherson, 2009)

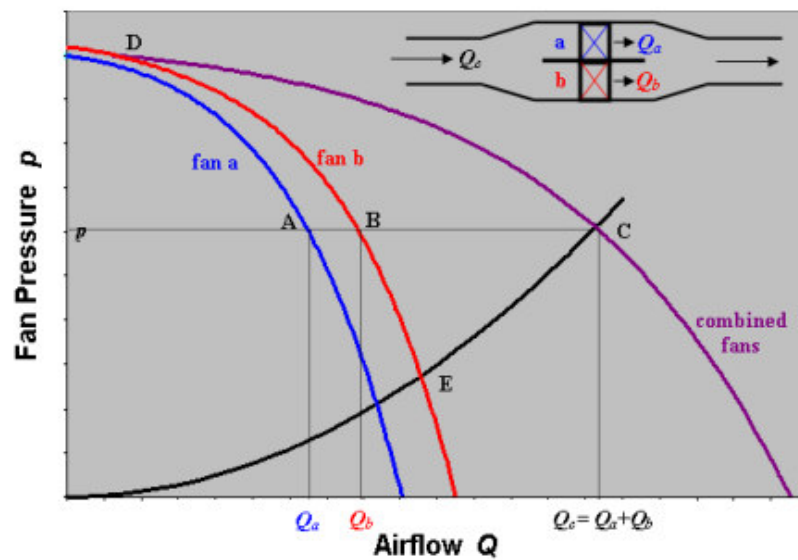
Ventiladores en paralelo

Dos o más ventiladores se encuentran conectados en paralelo cuando mantienen la misma presión, pero el caudal efectivo se adiciona al caudal total a medida que se añade un nuevo ventilador.

La Figura 16 muestra la curva característica de 2 ventiladores a y b conectados en paralelo, es decir uno al costado del otro, además detalla las características de presión-volumen y resistencia. El punto de operación del sistema está ubicado en el punto C, que es la intersección de la curva característica combinada de los 2 ventiladores con la curva de resistencia efectiva. Ambos ventiladores mantienen la misma presión p , pero tienen un Q_a y Q_b . (McPherson, 2009).

Figura 16

Curva característica para 2 ventiladores conectados en paralelo



Fuente. Ingeniería de ventilación de subterránea (McPherson, 2009)

Figura 17

Ventiladores de 105,000 CFM conectados en paralelo - Mina San Vicente



Fuente. Elaboración propia

2.2.7. Mangas de ventilación

Descripción

Son ductos de ventilación que conforman parte de la ventilación auxiliar. Son elementos de sección geométrica que se extienden a lo largo de las distintas labores mineras con el objetivo de mover aire fresco o mezcla de gases hacia un punto determinado, su diseño depende de la presión ejercida en el conducto y tipo de labor por la que se instalará. (NOOVA SAC, 2021)

Tipos de mangas de ventilación

- Ducto impelente, se usan para inyectar grandes volúmenes de aire o descargar aire con mezcla de gases o polvo, son los más empleados en las labores mineras.

Figura 18

Ducto impelente

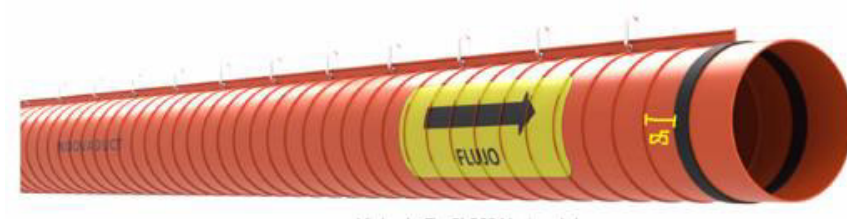


Fuente. Ductos y accesorios de ventilación (NOOVA SAC, 2021)

- Ducto aspirante, se usan para la extracción de aire viciado con o sin concentraciones de polvos o gases, estos llevan anillos a lo largo de cada tramo para evitar daños y dificultades en la extracción de aire.

Figura 19

Ducto aspirante

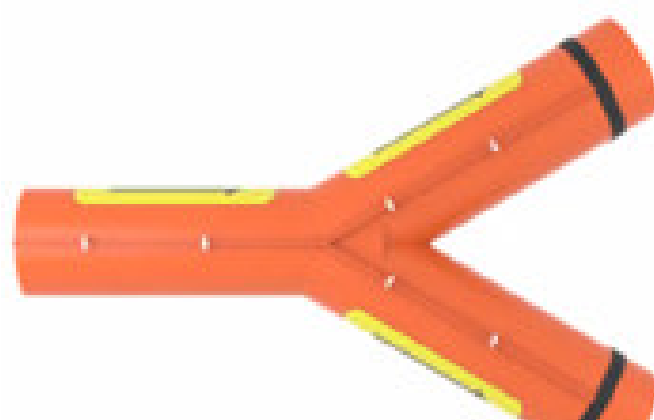


Fuente. Ductos y accesorios de ventilación (NOOVA SAC, 2021)

- Ducto tipo "Y" estándar, se usan generalmente cuando se desea direccionar el aire de un conducto hacia 2 labores específicas que no se encuentran en el mismo rumbo de la manga principal de llegada.

Figura 20

Ducto tipo "Y" estándar



Fuente. Ductos y accesorios de ventilación (NOOVA SAC, 2021)

- Ducto tipo “Y” lateral, son mangas similares al tipo “Y” estándar, se dividen en dos ductos para llevar aire hacia 2 labores específicas, la diferencia está en que uno de los ductos mantiene el mismo rumbo de la manga principal de llegada.

Figura 21

Ducto tipo “Y” lateral



Fuente. Ductos y accesorios de ventilación (NOOVA SAC, 2021)

- Ducto de reducción, son mangas cuyos extremos tienen diferente diámetro, se usan en lugares donde la sección de la labor es reducida y se desea evitar la rotura de mangas y pérdidas por choque.

Figura 22

Ducto de reducción



Fuente. Ductos y accesorios de ventilación (NOOVA SAC, 2021)

2.2.8. Diseño de Sistema de ventilación

Para poder diseñar un sistema de ventilación se debe considerar determinados factores:

- Establecer parámetros ambientales, temperatura, polvo y gases existentes;
- Consideraciones de diseño, geometría de las labores, tipos de revestimiento a emplear, método de explotación, profundidad e inclinación de reservas;
- Estado actual del sistema de ventilación, realización de aforos de ventilación, evaluación de estado de los ventiladores principales, consideración de quejas y observaciones de los colaboradores mineros;
- Calcular futuros requerimientos de ventilación, según la vida de la mina establecer plazos de tiempo para su examinación con cálculo de caudal para cada área de trabajo. (McPherson, 2009).

Procedimiento para diseño de sistema de ventilación

Para diseñar un sistema de ventilación se usan diagramas de secuencia. En una mina nueva no se cuenta con datos preexistentes por lo que se recurre a métodos de estimación de resistencia de galerías, incorporando la geometría de las labores, tipos de revestimiento (factores de fricción) y pérdidas por choque, una buena recomendación es comparar con otras minas que presenten condiciones similares a la mina en estudio. Cuando se trata de una mina existente ya se tiene un “esquema de ventilación” en la que se tiene la infraestructura del sistema de ventilación, a este esquema se añaden ramales como resistencias equivalentes que representan las labores que se va a incluir, para lo cual se puede emplear el esquema de la Figura 23. (McPherson, 2009).

Figura 23

Esquema para establecer una red básica de ventilación



Fuente. Ingeniería de ventilación subterránea (McPherson, 2009)

2.2.9. Diámetro óptimo para chimenea tipo Rb

Para determinar el diámetro óptimo de una chimenea tipo Rb, se realiza evaluando el costo de inversión o costo de minado, el costo de operación que conjuntamente hacen el costo total. (McPherson, 2009).

Costo de inversión (Cc)

Es también llamado costo de capital, es el costo incurrido en la construcción de la chimenea Rb. Este costo se expresa en US\$, sin embargo, para poder comparar los costos de capital con los costos de operación año a año se emplea el método de costo anual equivalente.

El costo de anual equivalente es el valor que se debe cumplir cada año para amortizar el capital y los intereses del valor de la inversión. (McPherson, 2009).

$$Cc = \frac{Pi}{(1 - \frac{1}{(1+i)^n})}$$

Donde:

- Cc: Costo de inversión por año (\$/año)
- Pi: Valor de la inversión (\$)
- n: N° años a pagar la inversión
- i: Taza de interés (%)

Costo de operación (Co)

Está relacionado al consumo de energía, aumento de presión del ventilador según la geometría de la labor y a la potencia del ventilador. Se emplea la siguiente expresión. (McPherson, 2009)

$$Co = \frac{P \times Q}{1000n} \times e \times 24 \times 265$$

Donde:

- Co: Costo de operación (\$/año)
- P: Aumento de la presión (Pa)
- Q: Caudal (m³/s)
- n: Eficiencia
- e: Costo de energía (\$/Kw-h)

Costo Total (Ct)

Es el costo sobre el cual se define el diámetro óptimo que debe tener la chimenea a construir, su resultado es la suma del costo de inversión y el costo de operación. (McPherson, 2009).

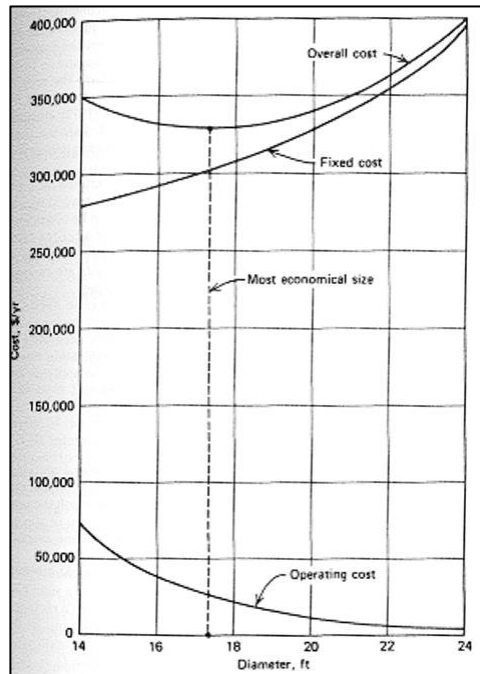
$$Ct = Cc + Co$$

Donde:

- Ct: Costo total (\$/año)
- Co: Costo de operación(\$/año)
- Cc: Costo de inversión (\$/año)

Figura 24

Determinación del diámetro óptimo de chimenea



Fuente. Ventilación de minas y condiciones de aire (Hartman, 1997)

2.2.10. *Requerimiento de aire*

El requerimiento de aire de mina se determina según la normativa especificada en el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional D.S. 023-2017- EM.

Caudal requerido por trabajadores

Es la cantidad de aire mínima necesaria para una persona según la altitud a la que se encuentre laborando, por lo que se sigue la siguiente escala de acuerdo con el artículo 247 del Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional D.S. 023-2017 - EM.

1. De 0 a 1,500 msnm la cantidad mínima de aire será igual a 3 m³/min.
2. De 1,500 a 3,000 msnm aumentará en 40% que será igual a 4 m³/min.
3. De 3,000 a 4,000 msnm aumentará en 70% que será igual a 5 m³/min.
4. Sobre los 4,000 msnm aumentará en 100% que será igual a 6 m³/min.

En base a esta escala se determina el caudal requerido para el personal como se describe en la siguiente expresión.

$$Q_{Tr} = N \times F$$

- Q_{Tr} : Caudal total para “n” trabajadores (m³/min);
- F: Caudal mínimo por persona de acuerdo con escala establecida en el artículo 247 del D.S. 023-2017-EM;
- N: Número de trabajadores de la guardia más numerosa.

Caudal requerido por equipos de motor petrolero

Los equipos que se usan en mina son de motor petrolero y por la combustión incompleta del motor liberan gases contaminantes. Según el artículo 252 correspondiente al Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional D.S. 023-2017 EM el requerimiento para cada equipo no debe

ser menor de 3m³/min multiplicado por capacidad efectiva de potencia en función a la disponibilidad mecánica y utilización como se describe en la siguiente ecuación.

$$Q_{Eq} = 3 \times HP \times Dm \times Fu$$

- Q_{Eq} : Volumen de aire necesario para la ventilación (m³/min);
- HP: Capacidad efectiva de potencia (HPs);
- Dm: Disponibilidad mecánica promedio de los equipos (%);
- Fu: Factor de utilización promedio de los equipos (%).

Caudal requerido por consumo de madera

El empleo de madera puede variar según las actividades de la mina, ya sea por sostenimiento, uso en vías férreas etc. Su uso genera emisión de gases CO₂ y CH₄, el factor se determina de manera proporcional a la producción mediante la escala mostrada en la Tabla 11 como lo indica el artículo 252 correspondiente al Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional D.S. 023-2017 EM.

Tabla 11

Factor de producción según consumo de madera

Consumo de madera (%)	Factor de producción (m³/min)
< 20	0.00
20 a 40	0.60
41 a 70	1.00
> 70	1.25

Fuente. Decreto Supremo N° 023-2017 EM. (2017)

La siguiente ecuación muestra la expresión matemática para determinar el caudal requerido por consumo de madera

$$Q_{Ma} = T \times u$$

- Q_{Ma} : Caudal requerido por toneladas de producción (m³/min);
- u : Factor de producción, de acuerdo con escala establecida en el segundo párrafo del literal d) del artículo 252 del reglamento;
- T : Producción en toneladas métricas húmedas por guardia.

Caudal requerido por temperatura en labores de trabajo

Según el artículo 252 del Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional D.S. 023-2017 EM, para mantener una temperatura de confort en el lugar de trabajo, el cálculo de requerimiento por temperatura es en función de la temperatura existente, cuando este sea de 24°C a 29°C la velocidad del aire deberá ser de 30 m/min (Tabla 12).

Tabla 12

Velocidad mínima por temperatura

Temperatura seca (°C)	Velocidad mínima (m/min)
< 24	0.00
24 a 29	30.0

Fuente. Decreto Supremo N° 023-2017 EM. (2017)

La siguiente ecuación muestra los factores para determinar el caudal requerido por temperatura.

$$Q_{Te} = Vm \times A \times N$$

- Q_{Te} : Caudal por temperatura (m^3/min);
- V_m : Velocidad mínima;
- A : Área de la labor promedio;
- N : Número de niveles con temperatura mayor a $23^\circ C$, de acuerdo con la escala establecida en el tercer párrafo del literal d) del artículo 252 del reglamento.

Caudal requerido por fugas

La mina es un ambiente dinámico, ya sea por empalmes de manga de ventilación, roturas por el paso de equipos, errores en la instalación, etc.; se producen fugas durante la ventilación. Por ello se considera como el 15% de la suma de caudal por trabajadores, equipos de motor petrolero, consumo de madera, temperatura de labores.

$$Q_{Fu} = 15\% \times Q_{T1}$$

$$Q_{T1} = Q_{Tr} + Q_{Eq} + Q_{Ma} + Q_{Te}$$

- Q_{Fu} : Caudal por fugas (m^3/min);
- Q_{T1} : Sumatoria de caudal por trabajadores, equipos de motor petrolero, consumo de madera, temperatura de labores.

Caudal total requerido

La demanda de aire al interior mina será la suma del caudal producido por fugas y el subtotal de caudal por trabajadores, equipos de motor petrolero, consumo de madera y temperatura de labores. (D.S. N° 023-2017-EM, 2017)

$$Q_{To} = Q_{T1} + Q_{Fu}$$

- Q_{To} : Caudal total para la operación;
- Q_{T1} : Sumatoria de caudal por trabajadores, equipos de motor petrolero, consumo de madera, temperatura de labores.

- Q_{Fu} : 15% del Q_{T1} .

Según el Art. 246 del Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional DS 023-2017 EM, cuando se determina el caudal total requerido para labores auxiliares, la cantidad y calidad suficiente de aire limpio y fresco será de acuerdo con el número de trabajadores y el total de HP's efectivos de los equipos de combustión incompleta.

$$Q_{Taux} = (Q_{T1} + Q_{Fu})$$

- Q_{Taux} : Caudal total para labores auxiliares
- Q_{T1} : Caudal que considera el número de personal y equipos diésel
- Q_{Fu} : 15% del Q_{T1} .

Cobertura y balance de aire

La cobertura es un indicador que relaciona la medición de caudal de ingreso de aire fresco obtenido en campo con el caudal requerido. (Tejeda & Mucha, 2022).

Según la norma vigente del Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional D.S. 023-2017 EM. La cobertura de aire siempre debe ser mayor al 100% para garantizar que la cantidad de aire suministrada sea mayor a la requerida.

$$C = \left(\frac{Q_i}{Q_{To}} \right) \times 100$$

- C: Cobertura de aire
- Q_i : Caudal de ingreso (CFM)
- Q_{To} : Caudal total para la operación (CFM)

El Art. 252 del Decreto Supremo N° 023-2017 EM señala que en un balance de la cantidad de aire que ingresa y sale de la mina no debe exceder al 10%. (D.S. N° 023-2017-EM, 2017)

$$B_o = \left(\frac{Q_i - Q_s}{Q_s} \right) \times 100\%$$

- B_o: Balance de aire %
- Q_i: Caudal de ingreso (CFM)
- Q_s: Caudal de salida (CFM)

2.2.11. Levantamientos de ventilación

2.2.12. Software VentSim

Descripción del software VentSim

Las redes de ventilación de las minas son complejas y su investigación a través de métodos analíticos resulta difícil por la complejidad de las expresiones algebraicas formados cuantos más ramales se incluyan, por lo que el uso de la simulación por computadora contribuye a controlar el sistema de ventilación de la mina y lo hace más fácil de administrar. VentSim ofrece la oportunidad de uso incluso para personas que no tienen mucha experiencia en el campo de redes de ventilación por su fácil empleo y gran capacidad para ilustrar las labores en una alta calidad. (Maleki,2018).

El software VentSim es un programa computarizado enfocado en el diseño, simulación y optimización de sistemas de ventilación subterránea, empleando parámetros como flujo de aire, presión, gases, costos, etc. Usa como principios las leyes de Kirchhoff, ecuación de Atkinson y la técnica de repetición empleada por Hardy Cross. (Wallace, & Prosser, 2015).

Entre las principales herramientas que ofrece el VentSim son las siguientes:

- Modelamiento 3D completo con rotación suave, zoom y planeo.
- Animación en tiempo real de los conductos de ventilación y ventiladores.

- Simulación de conductos de ventilación y ventiladores.
- Propagación básica de contaminantes básicos.
- Suministros y simulaciones de emergencia.
- Importación de las líneas centrales y sólidos de paquetes CAD (DFX) para construcción rápida de redes.
- Análisis económico de distintas opciones.
- Asistencia en la selección de ventiladores principales, secundarios, conductos, reguladores.

Proceso de modelización con VentSim

Para tener un modelo VentSim se necesita la base de datos obtenida en función a las campañas de medición en campo, además de las características geométricas de las labores mineras, para lo cual se realiza lo siguiente:

- a) Importar al software VentSim las especificaciones, dimensiones y geometría de las labores mineras que constituyen el circuito de ventilación.
- b) Revisar constantemente y previo a la simulación, la introducción de datos (datos geométricos, dimensiones, entradas y salidas de aire), revisar la operabilidad y pérdidas de carga incluidas según su ramal.
- c) Fijar los caudales de entrada medidos en la mina.
- d) Calibración del sistema: Consiste en modificar las resistencias teóricas hasta ajustar el caudal circulante por las ramas de manera que sea coherente a los datos medidos en campo.
- e) Introducir la curva característica de los ventiladores.
- f) Comprobar que la curva de funcionamiento del ventilador coincida con su punto de operación del ventilador. (López,2014)

Recirculación de aire

Es uno de los problemas más comunes en la ventilación. La recirculación de aire es el paso total o parte de un caudal a través de un tramo por más de una vez. El software VentSim utiliza algoritmos para trazar la ruta y señalar la porción recirculada de todos los caudales a lo largo de toda la mina, además alerta e indica la ubicación de donde se está originando la recirculación. (Patiño, 2022).

Herramientas adicionales del software VentSim

Simulación de contaminante

Es una herramienta que permite rastrear la concentración de contaminantes en el modelo VentSim. Esta simulación permite predecir el camino de cualquier tipo de contaminante ingresado, además es de gran apoyo en la planificación de emergencia y diseño de producción como la mejora de tiempos en limpieza de voladuras. (Howden, s/f).

Calculadora de ductos

Es una herramienta que permite determinar el requerimiento de ductos según diversos parámetros de ingreso. Presenta 6 tipos diferentes de configuración que se diferencian básicamente en las variables de entrada. Existen opciones para calcular el caudal de salida, potencia según el tipo de conducto, longitud de conducto, etc. (Howden, s/f).

Simulación dinámica

Es un módulo del VentSim diseñado para construir modelos que reproduzcan el comportamiento de un sistema complejo que puede ser aplicado sobre contaminantes, explosivos, MPD, polvo, radón y calor. (Howden, s/f).

2.2.13. Límites máximos permisibles

Existen 3 medidas umbrales sobre la cual el colaborador puede trabajar sin sufrir efectos adversos a la salud: TWA STEL y C. (McPherson, 2009).

TWA

Significa Medida moderada en el tiempo (Time Weighted Average). Representa las condiciones en las cuales los colaboradores pueden estar expuestos durante 8 horas de trabajo por jornada.

STEL

Exposición de corta duración (Short Time Exposure Level), representa trabajos en un espacio de tiempo limitado. Cuando las exposiciones sean mayores, la exposición a estas concentraciones no debe superar los 15 minutos y se debe descansar 1 hora mínima entre exposición, llegando a un máximo de 4 ciclos por jornada laboral.

C

Significa Nivel Techo de Exposición (Ceiling Limit). Es un límite de exposición que en ningún momento debe ser sobrepasado.

2.3. Definición de términos

- Nv: Nivel
- m.s.n.m: Metros sobre el nivel del mar
- Bm: Bocamina, acceso o entrada a mina
- Bp: By pass, labor paralela a otra labor
- Ch: Chimenea, labor vertical
- Rp: Rampa, labor de acceso a varias labores subterráneas
- Rb: Raise Boring (chimenea de contorno circular)
- Cx: Crucero, labor minera empleada para interceptar mineral
- CFM: Cubic feet per minute (pies cúbicos por minuto); unidad de caudal
- D.S. Decreto supremo
- HP: Horse power (caballos de fuerza); unidad de potencia
- Dm: Disponibilidad mecánica (%)
- Fu: Factor de utilización (%)
- Pa: Pascal; unidad de presión en el sistema internacional.
- Ft: Feet (pies)
- m: Metro
- kW: Kilowatt, unidad de potencia
- VAV: Ventilador de álabes variables
- Ga: Galería, labor minera horizontal o semi horizontal
- ppm: Partículas por millón
- LMP: Límite máximo permisible
- in H₂O: Pulgadas de columna de agua, unidad de presión en el sistema imperial.

CAPITULO III.

HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Las hipótesis

3.1.1. Hipótesis General

El diseño óptimo de sistema de ventilación empleando el software VentSim permite la reducción de niveles ácido sulfhídrico (H₂S) en el Crucero 8025 de la mina San Vicente - CIA SIMSA en el año 2023.

3.1.2. Hipótesis Específica

- a) La velocidad de aire influye en la reducción de niveles de ácido sulfhídrico (H₂S) en el Crucero 8025 de la mina San Vicente - CIA SIMSA en el año 2023.
- b) La labor extracción de aire viciado influye positivamente en la reducción de niveles de ácido sulfhídrico (H₂S) en el Crucero 8025 de la mina San Vicente - CIA SIMSA en el año 2023.
- c) El diseño óptimo de sistema de ventilación empleando el software VentSim permite la reducción de costos de ventilación en el Crucero 8025 de la mina San Vicente - CIA SIMSA en el año 2023.

3.2. Las variables

3.2.1. Variable Independiente

Diseño óptimo de sistema de ventilación empleando el software VentSim.

3.2.2. Variable Dependiente

Reducción de niveles de ácido sulfhídrico (H₂S) en el crucero 8025 de la mina San Vicente- CIA SIMSA.

3.3. Operacionalización de variables

Tabla 13

Operacionalización de variables

Tipo de variable	Variable de estudio	Dimensión	Unidad
Independiente	Diseño óptimo de sistema de ventilación empleando el software VentSim.	Labores subterráneas (cruceros, cámaras, chimeneas)	m, ft
		Caudal (personas, equipos)	CFM; m ³ /min
		Presión	"H ₂ O, Pa
		Potencia	BHP, HP
		Ventiladores	Und.
		VentSim	Software
Dependiente	Reducción de niveles de ácido sulfhídrico (H ₂ S) en el crucero 8025 de la mina San Vicente- CIA SIMSA.	Identificación de zonas críticas	Medidor de gas
		Gases tóxicos	ppm
		Velocidad de aire	m/min
		Temperatura de la labor	°C

Fuente. Elaboración propia

CAPITULO IV.

MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Área de estudio de la mina San Vicente

4.1.1. Ubicación y acceso:

La mina San Vicente está ubicada en el Distrito de Vitoc, provincia de Chanchamayo, departamento de Junín, al sur de la ciudad de San Ramón en el flanco occidental de la cordillera occidental, ceja de selva. Sus coordenadas UTM (WGS84-18S): 458,200E, 8'758'200N y su altitud que va de los 1400 a 2000msnm. (Figura 25).

Figura 25

Ubicación de la Unidad San Vicente



Fuente. Plan de minado anual (SIMSA, 2023)

El acceso principal a la mina es por la carretera central siguiendo la ruta Lima - La Oroya - Tarma - San Ramón hasta el Kilómetro 293 (antes de San Ramón), desde donde se sigue un desvío de 18km hacia el sur hasta la mina San Vicente, haciendo un total de 310km.

Tabla 14

Acceso a la mina San Vicente

Desde	Hasta	Distancia (Km)	Tipo de vía
Lima	La Oroya	188	Asfaltado
La Oroya	San Ramón	105	Asfaltado
San Ramon	Mina San Vicente	17	Trocha

Fuente. Elaboración propia

4.1.2. Clima

El clima de la mina San Vicente es cálido y húmedo, con una temperatura promedio de 25°C. Durante el año se tiene 2 estaciones según la cantidad de precipitaciones, entre mayo y setiembre es la estación seca, mientras que, en octubre y abril, la estación húmeda.

4.1.3. Geología Regional

El basamento rocoso está conformado por roca de tipo metamórfico e intrusivo paleozoico, estos desarrollaron altos estructurales y posiblemente la formación de cuencas para la formación de barras oolíticas. En la zona afloran rocas de carácter intrusivo del paleozoico superior, se identifican por el granito San Ramon al este y granodiorita Tarma al oeste. Sobre estos intrusivos sobre yace la secuencia detrítica volcánica del grupo Mitu de la edad pérmico, sobre estos últimos sobre yace los sedimentos calcáreos con secuencias de dolomías formando

horizontes con presencia de mantos mineralizados en Zinc y Plomo del Grupo Pucará de la edad Triásico Superior-Jurásico Inferior

4.1.4. Tipo de depósito

La mina San Vicente es un yacimiento Type Mississippi Valley (MVT), que está ligado a mineralizaciones de Zinc y Plomo. El área mineralizada tiene una influencia de 11 Km. Entre las zonas de San Vicente (norte y sur) Uncush Sur, Siete Jeringas y Chilpes, a lo largo del cual se encuentran afloramientos a manera de lentes irregulares.

4.1.5. Geología económica

El yacimiento de la mina San Vicente esta estratoligado a mineralización de zinc y plomo, la mineralogía de ganga está representada por dolomita (carbonato de calcio y magnesio), pirita y en menor proporción por calcita. Los afloramientos de mineral son lentes irregulares tanto en sentido horizontal y vertical cuya ocurrencia de mineral es en brecha, cebrá y masivo.

4.1.6. Tipo de sostenimiento

El sostenimiento tanto para labores permanentes o temporales varía según las competencias mecánicas de funcionamiento según las condiciones en las que se instalen. La malla electrosoldada en labores permanentes se acondiciona en base a la influencia por actividad micro sísmica y presencia de agua, mientras que en labores temporales se utiliza malla no galvanizada o de color negro.

El anclaje de roca se realiza con pernos Swellex de 5, 7 pies espaciados según la recomendación geomecánica, inflados a una presión de 250 a 300 bares, con capacidad de arranques no menores a 1.7 tn/pie. Además, se emplea el lanzado de concreto reforzado con

fibra (shotcrete) de 2" o 3". Su aplicación está condicionado a la actividad sísmica, el cual es estimado mediante un sistema de monitoreo sísmico que registra en tiempo real la actividad sísmica de Simsa.

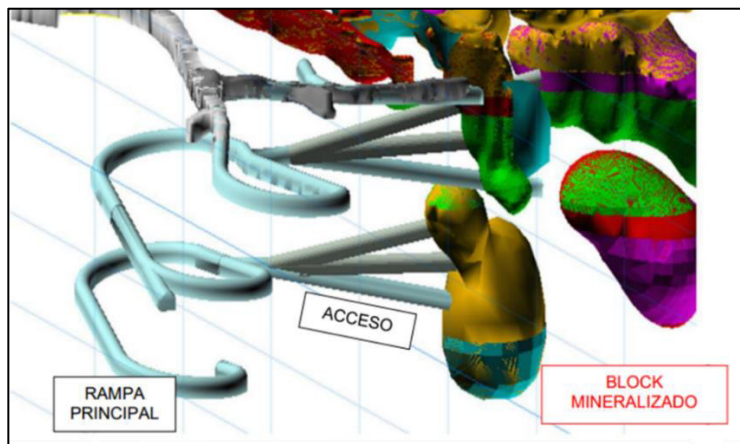
4.1.7. Método de minado

El método de minado de Simsa es la unión de 2 de métodos: Corte y relleno ascendente y cámaras y pilares.

Corte y relleno ascendente

Es un método que avanza en breasting o realce, empezando por la parte inferior del tajo y avanzando verticalmente, cuando se termina de extraer la franja completa o una de las partes se rellena con material detrítico proveniente de las operaciones de desarrollo y/o preparación y relleno hidráulico proveniente del procesamiento del mineral, este sirve como piso de trabajo y sostenimiento del tajo.

Para llegar a la zona mineralizada se realiza la rampa principal ubicada en la caja piso. En cada acceso hacia el manto se preparan cámaras de carguío para volquetes de 25 y 35 toneladas que son cargados por scoops de 4.1 yd³ y 6yd³ de capacidad, cuyo mineral cargado será transportado al echadero principal (ore pass 690). Para cada block de explotación se realizan chimeneas de ventilación tipo Raise Borer de 7" (2.1m) de diámetro para poder evacuar el aire viciado hacia el circuito principal de extracción.

Figura 26*Método de explotación corte y relleno ascendente**Fuente. Plan de minado anual (SIMSA, 2023)*

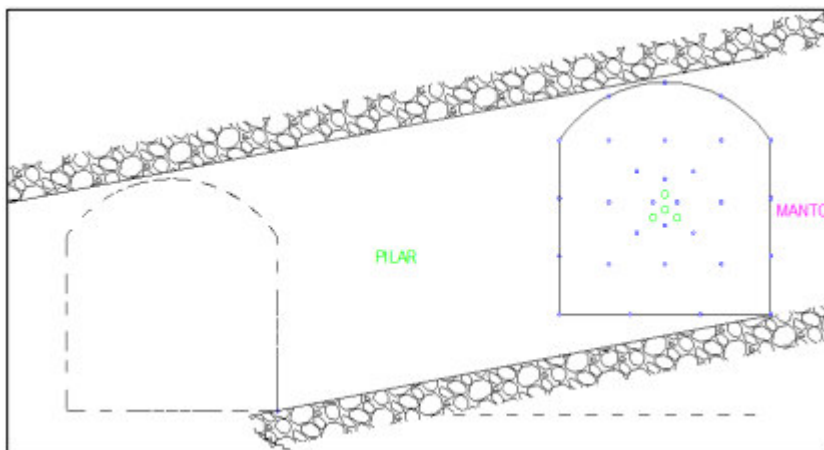
Cámaras y pilares

Este método se emplea cuando el buzamiento de los mantos es de 0 a 25° con potencias que van desde los 2 a 10m mientras se avanza con la explotación. La distribución y dimensión de cámaras se hace a demanda de la explotación que a su vez va dejando pilares de forma irregular por ser zona de baja ley y/o estéril. La recuperación del yacimiento varía según las condiciones del yacimiento y grado de mecanización alcanzado pudiendo ser total o parcial, pero se realiza una vez que el tajo llega a su límite económico en retirada.

Al conectarse dos niveles superiores se construye chimeneas Raise Boring para la extracción de aire viciado, además en ocasiones se realiza chimeneas para echadero de mineral y facilitar su evacuación final.

Figura 27

Método de minado por cámaras y pilares



Fuente. Plan de minado anual (SIMSA, 2023)

4.1.8. Operaciones unitarias de perforación y voladura

La perforación se realiza con equipos electrohidráulicos (jumbos de un brazo y de dos brazos) con vigas de barrenos de 12 y 14 pies de longitud. Para los taladros de producción se emplean brocas de 45mm y rimadoras de 101.6mm de diámetro para los taladros de alivio.

Durante el proceso de voladura, en el carguío de explosivo se emplea *emulnor* 3000 1 1/8" * 16" y *emulnor* de 1000 1 1/8" * 16", para el control de la corona se emplea *famecorte* 1 1/8" * 16", como accesorios de voladura se emplea *fanel* de periodo corto y periodo largo como tubo de choque, *pentaCord* como cordón detonante, *Cármex* de 8' de longitud como mecha de seguridad.

4.1.9. Sistema de ventilación U.E.A. San Vicente

Ingreso de aire limpio

En el Nv. 1630 se cuenta con 3 ingresos de aire limpio por medio de 3 bocaminas que recorren oficina mina, atraviesan la Galería 730, una parte se dirige a la zona alta y otra desciende a la Rp 240 para luego conectarse a la Rp 8090 (-) y dirigirse a la zona de profundización de la U.M. San Vicente que constituyen las labores de producción, exploración y avance (Tj 8650, Tj 8670, Tj 8680, TJ 8690, Tj 8600, Tj 8800, Rp 8600, Rp 8700, CX 8640)

Adicionalmente llega aire por 2 estaciones de monitoreo ubicados en el Nv. 1775 (Bocamina Rhamys Gal 6530 y Rampa 7095), descienden por la Rp 7400 y el flujo de aire se integra al flujo de aire la Rp 240 por la conexión de la Rp 120. Este flujo de aire limpio se integra al flujo de las bocaminas del Nv 1630 y llega hacia la zona alta y de profundización de la U.M. San Vicente por la Rp 240.

En el Nv. 1704 se tiene 3 estaciones de monitoreo de ingreso de aire limpio (Gal. 490N, Rampa 755 – Zona Sur, Rampa 340 – Zona Sur), este flujo de aire al ingresar desciende por la Rp 960 y conecta a la Galería 730 del Nv. 1630 mediante la Rp 160, añadiéndose a los ingresos de aire limpio que provienen de las bocaminas principales del Nv 1630, y en consecuencia llegan hacia la zona de profundización de la U.M. San Vicente por medio de la Rp 240.

En el Nv. 1515 se tiene un ingreso de aire cuyo flujo se monitorea en la estación de monitoreo de la Galería 550 E. El aire fluye por la Galería 9980 y mediante la Rp 333 se integra al circuito de aire que desciende por la Rp. 240 aumentando el flujo de aire que se dirige hacia la zona de profundización de la U.M. San Vicente.

En conjunto se tienen 12 puntos de ingreso de aire limpio que hacen un total de caudal de aire limpio de 11,662.96m³/min (411,819.14 CFM) que abastece la mina San Vicente. El CX

8025 es una labor de exploración ciega que inicia en el término de la Rp 240 e inicio de la Rp 8090 (-) por lo que se ventila mediante un sistema de ventilación auxiliar constituyente de un ventilador que capta parte del aire limpio que baja por la Rp 240 y lo dirige al crucero por medio de conductos de ventilación.

Salida de aire viciado

El aire viciado proveniente del Tj 8650, Tj 8670, Tj 8680, TJ 8690, Rp 8600, Rp 8700, (zona de profundización), planta shotcrete se extrae por medio de 2 chimeneas tipo Rb de 7" de diámetro ubicadas en el Nv. 1200, la cual sube hasta al CX 8505 ubicado en el Nv. 1320, ahí se cuenta con 2 ventiladores de capacidad de 105,000 CFM cada uno, que por medio de 2 chimeneas Rb, llevan el aire viciado a la Ga 690 ubicada en el Nv. 1515, este aire recorre la galería del lado norte a sur hasta subir por medio de 2 chimeneas tipo Rb al Ac 160 donde se cuenta con 2 ventiladores principales extractores de capacidad de 105,000 CFM cada uno. Dirigen todo el aire viciado por medio de 2 chimeneas tipo Rb hasta el CX 240, luego por medio de una chimenea Rb llega hacia la Galería 555 S en el Nv. 1704, por donde se evacua el flujo de aire viciado a superficie.

De las labores de producción Tj 8600, Tj 8800, CX 8640 se evacua el aire viciado por medio de una chimenea Rb de 10" de diámetro hacia la Ga 690 para luego mediante dos chimeneas tipo Rb de 2.1m subir hasta A1. Adicionalmente en el Nv 1515 se ubica la tolva 690, Tj 632 que por medio de una chimenea tipo Rb de 2.1 m de diámetro y un ventilador de 50 KCFM extraen el aire viciado hacia A1. Una vez que el aire viciado llega a A1 (CX 8587), se dirige hacia la Bm Alicia mediante 2 ventiladores extractores principales de 105,000 CFM.

En conjunto se tienen 6 puntos de salida de aire viciado que hacen un total de caudal de aire viciado de 11,969.80 m³/min (422,706.15CFM). Por otro lado, el CX 8025 al no contar con un sistema de extracción, el aire viciado retorna por la propia labor y sale hacia la Rp 240 y desciende a la zona de profundización mediante la Rp. 8090(-).

4.1.10. Aguas subterráneas

Se tiene 7 unidades hidrogeológicas: 1) Conglomerados del Grupo Mitu, 2) Intrusivo fresco y fracturado San Ramón, 3) Calizas dolomíticas y areniscas calcáreas – Fm. Condorsinga, 4) Calizas negras bituminosas – Fm. Aramachay, 5) Calizas chérticas y dolomías – Fm. Chambará, 6) Depósitos Coluviales, 7) Depósitos Aluviales, los cuales caracterizan la hidrogeología del área.

El acuífero más importante es el de las calizas Pucará que tiene una permeabilidad de 3.5×10^{-4} a 1.7×10^{-3} cm/s, es catalogado como “acuífero” de moderada conductividad. Los aluviales tienen de moderada a alta permeabilidad entre 3.1×10^{-4} a 6.2×10^{-3} cm/s. Las rocas San Ramon son acuíferos en la relavera Esperanza y acuitardo en los depósitos vulcano-sedimentarios del grupo Mitu que afloran en la parte central y baja de la quebrada Puntayacu

El nivel freático desciende progresivamente a medida que se profundiza las excavaciones, las descargas de los niveles superiores se secan por el descenso de la capa freática, lo que provoca un drenaje permanente de las reservas del acuífero con conexión a estructuras anómalas que están asociados a una incipiente karstificación de rocas calcáreas.

Bajo la zona de profundización de Ayala inferior existen diversas fallas de la secuencia dolomítica, los sondajes diamantinos al interceptar estas fallas remueven el agua contenida liberando H₂S como reacción natural del agua a la descomposición bacteriana en la materia orgánica presente en dichas fallas.

4.2. Diseño de investigación

El diseño de esta investigación es de metodología cuantitativa dado que se realizará un control y registro de la situación actual de la ventilación en el crucero 8025 de la unidad San Vicente, para con ello diseñar un nuevo sistema de ventilación auxiliar empleando el software VentSim.

El tipo de investigación es de carácter cuasi experimental debido a la manipulación parcial de variables, ya que no se puede evitar la liberación de gases de ácido sulfhídrico (H₂S).

El alcance de esta investigación es de nivel descriptiva, dado que tomará datos medidos en campo, se empleará el software VentSim para su análisis con la mayor precisión posible y se definirá un sistema de ventilación auxiliar óptimo que permita la reducción de niveles de ácido sulfhídrico (H₂S).

La temporalidad de nuestra investigación es de corte longitudinal (evolutivo) pues se hará seguimiento al diseño de ventilación empleando el software VentSim para la reducción de niveles de ácido sulfhídrico (H₂S) en el crucero 8025 de la unidad San Vicente-CIA SIMSA.

4.3. Población y muestra

4.3.1. Población

La población está constituida por el sistema de ventilación de la U.M. San Vicente.

4.3.2. Muestra

La muestra está constituida por el sistema de ventilación del Crucero 8025 ubicado en el Nv 1370.

4.4. Procedimiento, técnicas e instrumentos de recolección de datos

Esta investigación se realizará del mes de marzo al mes de julio, tomando como data tomada en campo 50 mediciones antes del diseño y 50 mediciones después del diseño.

4.4.1. Técnicas

Para realizar el diseño óptimo de sistema de ventilación para el crucero 8025 se requiere de trabajos en campo y en gabinete, lo que implica diversos conocimientos, métodos e instrumentos para ambas situaciones.

- Recopilación de información del circuito de ventilación y labores subterráneas de la mina San Vicente.
- Medición y cálculo de parámetros de ventilación en campo.
- Manejo de Software VentSim.

4.4.2. Instrumentos de recolección de información

Se empleará trabajos de campo en la recolección de datos y análisis de diagnóstico actual del crucero, para lo cual se utilizará equipos de medición de parámetros termo ambientales, equipos de medición de longitud, equipos de monitoreo de gases, papel, lápiz. Por otro lado, se realizará trabajos de gabinete para la importación de información, diseño y simulación mediante software.

Anemómetro de hilo caliente Testo

Dispositivo que mide la velocidad, temperatura del aire y registrado la sección de la labor permite obtener el caudal, para la medición se emplea un brazo telescópico extensible hasta 400mm. Este objeto se usará para determinar la temperatura y velocidad de aire en diferentes puntos del crucero y así analizar la situación del sistema de ventilación. (Figura 28).

Figura 28*Anemómetro de hilo caliente**Fuente. Elaboración propia***Distanciómetro 510**

Es un medidor de longitud que emite un pulso láser hacia un objeto, el pulso se refleja en el objeto y vuelve al dispositivo emisor a la velocidad de la luz. El distanciómetro registra el “tiempo de vuelo” que junto a la velocidad de la luz y mediante una calculadora incorporada hace posible la obtención de la distancia desde el distanciómetro hacia el objeto. Se empleará el distanciómetro para determinar la distancia de la manga hacia el frente de la labor según el estándar (D.S. 023-2017 EM.) y medir la sección de las labores. (Figura 29).

Monitor de gas Altair 5X:

Es un equipo que mediante una bomba de succión mide y registra gases combustibles, sustancias tóxicas y oxígeno en un ambiente determinado y en tiempo real. Se empleará este monitor de gases para medir los diferentes gases existentes en el crucero tales como: O_2 , CO , CO_2 , NO_2 , H_2S . (Figura 29).

Figura 29

Distanciómetro, Kit Testo 440 DP, monitor de gases ALTAIR 5X



Fuente. Elaboración propia

Celular

Por vía bluetooth se registrarán los datos medidos por el anemómetro, así también para tomar evidencia de la recopilación de datos realizada.

Cuaderno

Se empleará un cuaderno pequeño con tapa de cartón para su fácil empleo y evitar daños debido a la gran cantidad de agua existente en la mina, en esta se registrará la velocidad de aire, caudal y gases existentes en el campo, como también se tomará apunte de detalles observadas en la labor ya sea fugas de aire limpio, zonas con mayor presencia de ácido sulfhídrico (H_2S), zonas de menor flujo de aire, zonas que tengan acumulación de agua, etc.

Planos

Para poder conciliar las mediciones que se realizarán con la ubicación exacta en el crucero 8025, así mismo brindará las facilidades para diseñar un sistema de extracción de aire viciado al circuito principal de extracción.

Lapiceros

Se empleará lapiceros para registrar valores de lo medido y observado en campo para plasmarlo en el cuaderno.

Figura 30

Cuaderno y lapiceros para la toma de datos



Fuente. Elaboración propia

Software VentSim

Se usará el software VentSim versión 5.4 para la actualización de información, importación de datos tomados en campo, calibración de sistema (geometría de las labores, etc.) diseño y simulación de distintos sistemas de ventilación y análisis de resultados.

4.4.3. Procedimientos de recolección de información

Trabajo en campo

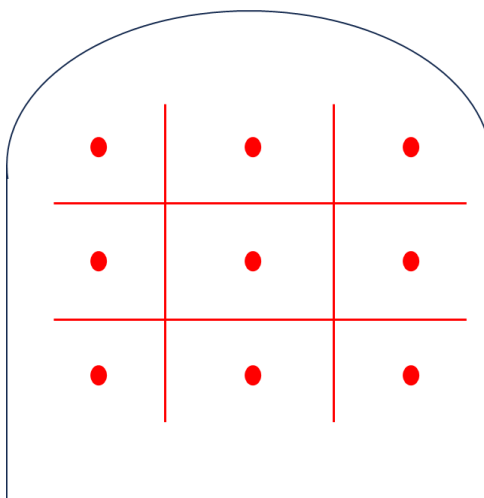
Durante los días comprendidos entre el 18 de marzo al 21 de julio del 2023 se realizó el levantamiento de parámetros de ventilación (velocidad, temperatura y sección) para obtener el caudal de aire en el CX 8025 con la finalidad de poder calibrar el software VentSim y verificar las condiciones de la labor antes y después del diseño.

Cálculo de velocidad de aire y temperatura

Para la medición de velocidad de aire se posicionará el equipo anemómetro de hilo caliente en la sección de la labor dividida imaginariamente en 9 cuadrantes en los que se registrará la medición de velocidad de aire de 20 a 30 segundos en cada punto. La velocidad será el promedio de las 9 mediciones hechas en cada punto de cada sección. (Hartman, 1997)

Figura 31

Medición por método de 9 puntos



Fuente. Elaboración propia

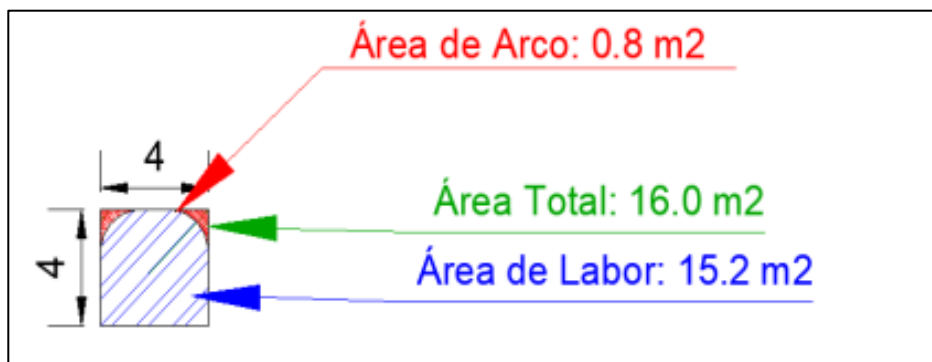
Cálculo de sección de la labor

Ubicado el punto de medición se procede a colocar el distanciómetro desde un hastial y apuntando de forma horizontal hacia el otro hastial para medir el largo de la sección. Del mismo modo, para medir el alto de la labor se coloca el distanciómetro en el medio del piso y en posición vertical señalando a la corona de la labor se toma la medición de la altura.

Debido a que la corona tiene forma de arco y no es 100% cuadrangular. Se considera la sección típica de las labores en SIMSA de 16m² en una sección cuadrangular, sin embargo, se obtiene 15.2m² por la forma arqueada de la corona, lo que representa el 95% de sección (Simsa, 2023)

Figura 32

Sustento de factores de una sección típica - SIMSA



Fuente. Evaluación integral de ventilación-SIMSA

$$S = b \times h \times 0.95$$

- S: Sección de la labor (m²)
- b: Ancho (m)
- h: Alto (m)

Cálculo de flujo de aire

El flujo de aire será el producto de la sección obtenida con el promedio de la velocidad de aire y multiplicado por un factor de conversión que permitirá expresar el caudal de aire en CFM

$$Q = S \times V \times 35.314$$

- Q: Caudal (CFM)
- S: Sección de la labor (m2)
- V: Velocidad (m/min)

Monitoreo de gas

Se hará un registro y control de los gases existentes y sus niveles a lo largo de la inspección del crucero 8025 en tiempo real mediante el monitor de gas Altair 5X.

Trabajo en gabinete

Software VentSim

- Importación e introducción de datos al VentSim,
- Revisión previa de la simulación,
- Calibración del sistema,
- Diseñar un sistema óptimo de inyección de aire limpio y un sistema de extracción al circuito principal de extracción de aire viciado en el software VentSim,
- Realización de simulaciones y análisis de resultados.

CAPITULO V.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5. RESULTADOS

5.1. Descripción y mediciones en campo del CX 8025

El CX 8025 se encuentra ubicado en el Nv. 1370 en el término de la Rp 240 y el inicio de la Rp 8090 (-), tiene desarrollado aproximadamente 480m de longitud y sección de 4.0 x 4.0m de forma arqueada, una clasificación RMR entre 51-53 tipo III-A, por lo cual su sostenimiento es por medio de malla electrosoldada y perno Swellex de 7". Presenta agua subterránea que corresponde a un goteo irregular ocasional y producto de sondajes diamantinos.

Esta labor es ventilada por medio de 2 ventiladores auxiliares conectados en serie, cada uno de capacidad de 30,000 CFM con una línea de ducto de ventilación de 30". El primer ventilador está ubicado en la Rp 240 para captar aire limpio proveniente de las bocaminas ubicadas en el Nv 1630, Nv 1775, Nv 1704, Nv 1515; para llevar aire limpio al CX 8025. El segundo ventilador se encuentra a 295m del primer ventilador para compensar la pérdida de carga producida por choque y fricción durante su recorrido a través de la manga. A partir del segundo ventilador sale una manga de ventilación de 30" de diámetro que recorre toda la labor y por medio de una manga tipo "y" lateral se brinda aire limpio para la CA DDH 8112 y el frente de avance de la labor.

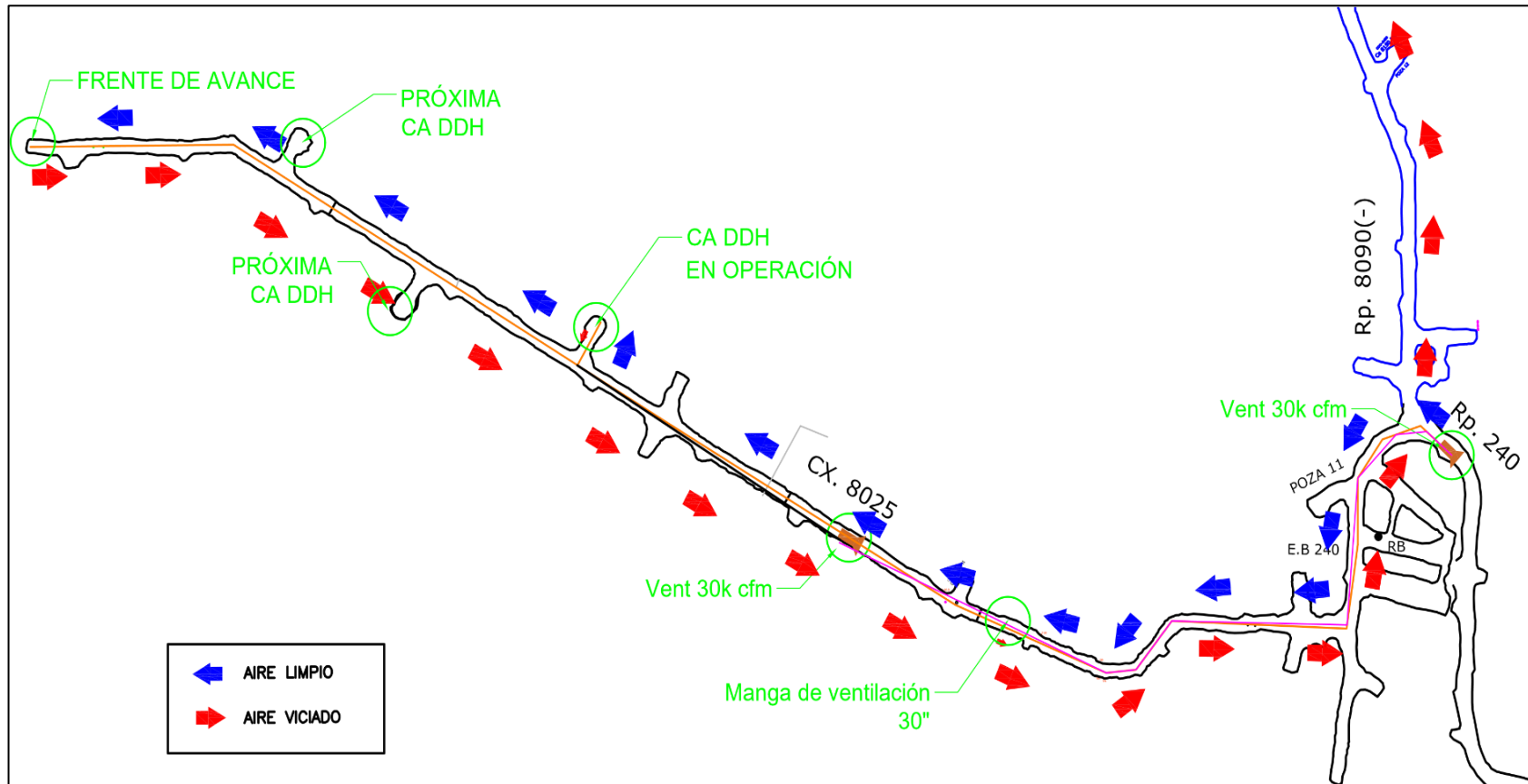
El aire de retorno o aire viciado de las labores de exploración y avance propias del CX 8025 regresan por dicha labor. Debido a la baja velocidad de retorno y no contar con una chimenea Rb de extracción de aire viciado, gran parte del aire de retorno es captado por el segundo ventilador conectado en serie, provocando la recirculación de gases en la labor. El aire

viciado restante sale del CX 8025 y desciende por la Rp 8090(-) diluyéndose con el aire limpio que desciende hacia la zona de profundización.

Durante las operaciones de exploración en las cámaras diamantinas, los sondajes interceptan grandes cantidades de agua, estas ocasionan la liberación de gas ácido sulfhídrico (H_2S), la cual fue formada como reacción de la presencia de agua con la materia orgánica presente en algunas fallas de la secuencia dolomítica propia de la U.E.A. Ayala inferior.

Figura 33

CX 8025 Nv. 1370, marzo 2023



Fuente. Elaboración propia

5.1.1. Medición de velocidad de aire

Con el distanciómetro y anemómetro, se realizó mediciones en el frente de avance y la CA DDH 8812 del CX 8025.

Frente de avance

En el Anexo C de esta investigación se presentan tablas de las mediciones de velocidad de aire en el frente de avance del CX 8025. La Tabla 15 muestra el resumen estadístico de las 50 mediciones realizadas en el frente de avance previo al diseño de sistema de ventilación en el CX 8025.

Tabla 15

Estadística de velocidad de aire marzo - mayo, frente de avance CX 8025

ANÁLISIS DE VELOCIDAD DE AIRE (m/min) CX 8025	
Media	12.5
Mediana	12.6
Moda	13.2
Mínimo	10.4
Máximo	14.4
Cuenta	50

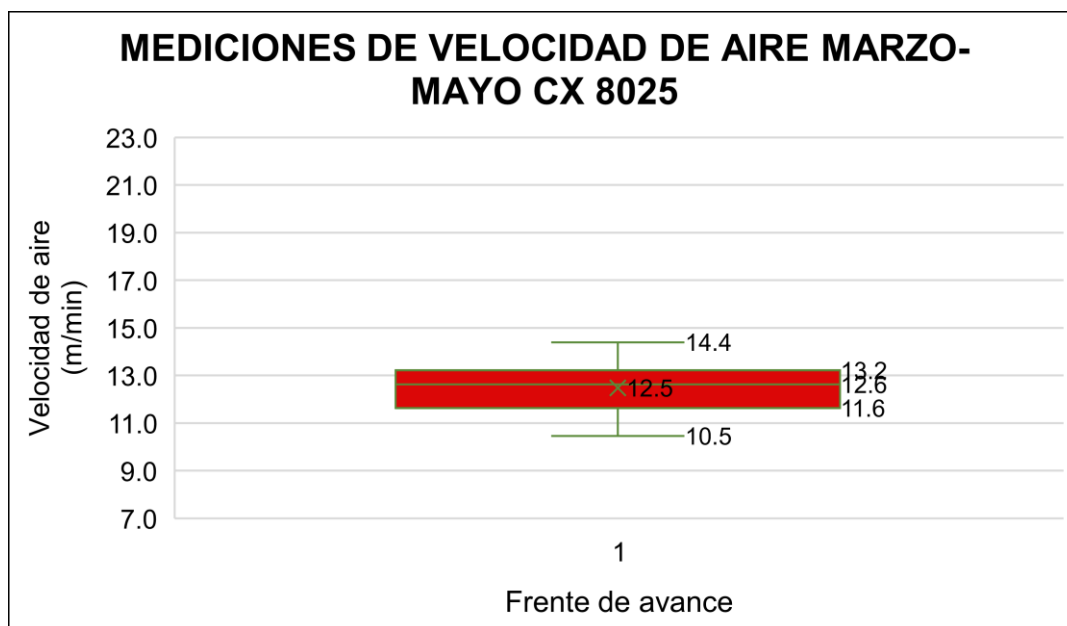
Fuente. Elaboración propia, a partir de los datos tomados de la minera SIMSA

Se obtiene un promedio de 12.5 m/min. El valor mínimo de velocidad registrado fue de 10.40 m/min y un valor máximo de 14.4 m/min por lo que en ningún caso se registró a la velocidad por encima lo 20m/min como lo establece la norma vigente.

El Grafico 1 muestra mediante un diagrama de caja los registros de velocidad de aire en el frente de avance, durante los meses de marzo, abril, y la primera quincena de mayo.

Gráfico 1

Velocidad de aire marzo - mayo, frente de avance CX 8025



Fuente. Elaboración propia, a partir de los datos tomados de la minera SIMSA

Se visualiza que en los resultados obtenidos la velocidad del aire no supera la velocidad mínima establecida por la norma vigente concerniente a los 20m/min.

La Tabla 16 muestra los resultados obtenidos al medir en campo la velocidad de aire, sección y caudal de aire en el frente de avance del CX 8025.

Tabla 16

Velocidad de aire marzo - mayo, frente de avance CX 8025

Nivel	Labor	Etapa	Sección		Área (m ²)	Velocidad (m/min)	Caudal	
			Ancho (m)	Alto (m)			m ³ /min	CFM
1370	CX 8025	Avance	4.05	4.04	15.54	12.5	194.14	6855.93

Fuente. Elaboración propia, a partir de datos tomados de la minera SIMSA

Se obtuvo que la velocidad de aire el frente de avance iba desde los 10.5m/min a 14.4 m/min, lo cual se encuentra debajo de lo establecido por la norma vigente. Con estos valores resultó una velocidad de aire promedio de 12.48m/min, obteniendo un caudal de 6,855 CFM.

CA DDH 8112

La Tabla 17 muestra el resumen estadístico de las 50 mediciones realizadas en la CA DDH 8112 previo al diseño de sistema de ventilación en el CX 8025.

Tabla 17*Velocidad de aire marzo - mayo, CA DDH 8112*

ANÁLISIS DE VELOCIDAD DE AIRE (m/min) CA DDH 8112	
Media	13.3
Mediana	13.3
Moda	15.6
Mínimo	10.9
Máximo	17.9
Cuenta	50

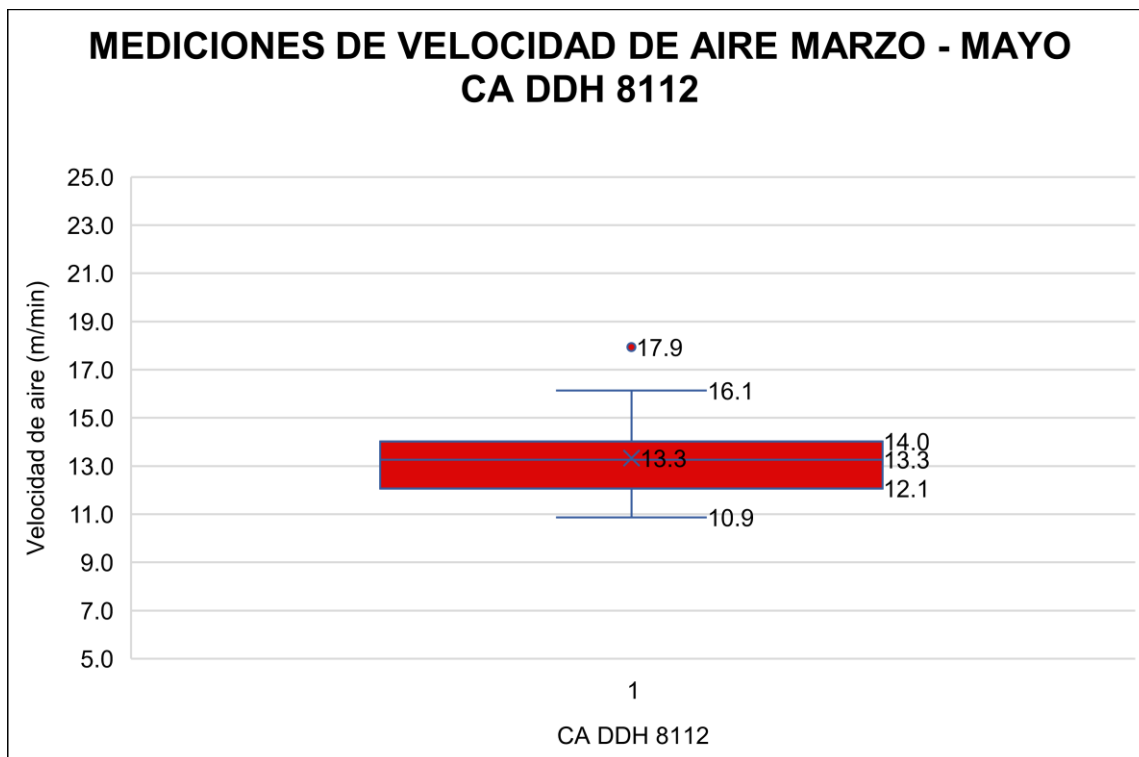
Fuente. Elaboración propia, a partir de los datos tomados de la minera SIMSA

Se obtiene un promedio de 13.3 m/min. El valor mínimo de velocidad registrado fue de 10.9 m/min y un valor máximo de 17.9 m/min por lo que en ningún caso se registró a la velocidad por encima lo 20m/min como lo indica la norma vigente.

El Grafico 2 muestra mediante un diagrama de caja los registros de velocidad de aire en la CA DDH 8112, durante los meses de marzo, abril, y la primera quincena de mayo.

Gráfico 2

Medición de velocidad de aire marzo - mayo, CA DDH 8112



Fuente. Elaboración propia, a partir de los datos tomados de la minera SIMSA

Se muestra que en los resultados obtenidos la velocidad del aire no supera la velocidad mínima establecida por la norma vigente concerniente a los 20m/min.

La Tabla 18 muestra los resultados obtenidos al medir en campo la velocidad de aire, sección y caudal de aire en la CA DDH 8112.

Tabla 18

Velocidad de aire y caudal marzo - mayo, CA DDH 8112

Nivel	Labor	Etapa	Sección		Área (m ²)	Velocidad (m/min)	Caudal	
			Ancho (m)	Alto (m)			m ³ /min	CFM
1370	CA DDH 8112	Avance	3.52	3.53	11.82	13.33	157.38	5557.96

Fuente. Elaboración propia, a partir de datos tomados de la minera SIMSA

Se obtuvo que la velocidad de aire el frente de avance iba desde los 10.9 m/min a 17.9 m/min, lo cual se encuentra debajo de lo establecido por la norma vigente. Con estos valores resultó como velocidad de aire promedio 13.33 m/min, obteniendo un caudal de 5,557 CFM.

5.1.2. Medición de gases

Se realizó el monitoreo de gases en el frente de avance y la CA DDH 8112, con el equipo monitor de gas Altair 5X.

Frente de avance

En el Anexo D se presentan tablas de las mediciones de gases en el frente de avance del CX 8025. La Tabla 19 muestra el promedio de los valores obtenidos en la medición de gases en el frente de avance del CX 8025 durante los meses de marzo abril y mayo del 2023.

Tabla 19*Monitoreo de gases marzo - mayo, frente de avance de CX 8025*

Nivel	Labor	Etapas	CO p.p.m.	CO2 p.p.m.	O2 %	H2S p.p.m.	NO2 p.p.m.
1370	CX 8025	Avance	12	1700	20.4	0.5	1

Fuente. Elaboración propia, a partir de datos tomados de la minera SIMSA

Se observa pequeñas concentraciones de los gases presentes en el frente de avance, lo cual supone ser por recirculación de aire por la deficiente colocación de los ventiladores impelentes.

CA DDH 8112

La Tabla 20 muestra el promedio de los valores obtenidos en la medición de gases durante los meses de marzo, abril y mayo de la CA DDH 8112.

Tabla 20*Monitoreo de gases marzo – mayo, CA DDH 8112*

Nivel	Labor	Etapas	CO p.p.m.	CO2 p.p.m.	O2 %	H2S p.p.m.	NO2 p.p.m.
1370	CA DDH 8112	Avance	7	1100	20.4	19	1

Fuente. Elaboración propia, a partir de datos tomados de la minera SIMSA

Se observa que, en base a los 5 gases medidos en campo, los niveles de ácido sulfhídrico tienen un valor promedio de 19 ppm, lo cual se encuentra por encima del límite máximo permisible de 10 ppm establecido por la normativa vigente.

La Tabla 21 muestra el resumen estadístico de las 50 mediciones de ácido sulfhídrico hechas en la CA DDH 8112.

Tabla 21

Estadística de niveles de ácido sulfhídrico marzo - mayo, CA DDH 8112

ANÁLISIS DE ÁCIDO SULFHÍDRICO (ppm) CA DDH 8112	
Media	19
Mediana	18
Moda	16
Mínimo	10.8
Máximo	49.0
Cuenta	50

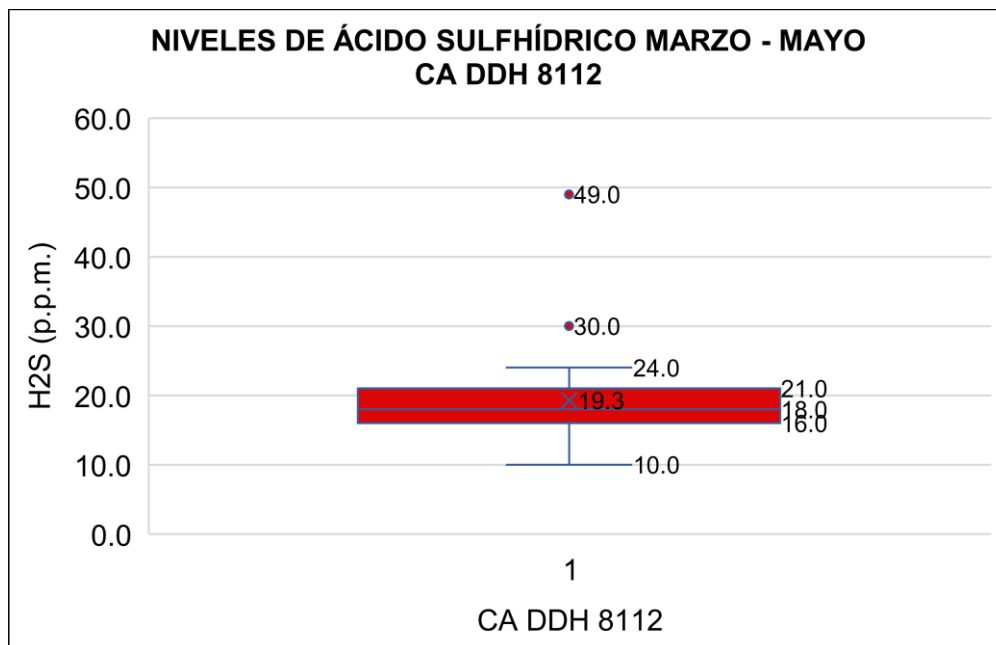
Fuente. Elaboración propia, a partir de los datos tomados de la minera SIMSA

El valor promedio de ácido sulfhídrico es de 19 ppm. El valor mínimo registrado fue de 10 ppm el cual está en el límite máximo permisible, no obstante, en las demás mediciones los niveles de ácido sulfhídrico están por encima de los límites permisibles. Además, se registra un valor máximo de 49 ppm.

El Grafico 3 muestra en un diagrama de cajas y bigotes los valores obtenidos de ácido sulfhídrico en la CA DDH 8112.

Gráfico 3

Niveles de ácido sulfhídrico marzo – mayo, CA DDH 8112



Fuente. Elaboración propia

Se observa que, durante los meses de marzo, abril, y la primera quincena de mayo los valores excedían el LMP establecido por la norma vigente de 10 ppm. Además, en algunas mediciones se registraron altos erráticos de 49 ppm y 31 ppm de ácido sulfhídrico en la CA DDH 8112.

5.2. Requerimiento de aire

Según el Art. 246 en todas las labores subterráneas, se debe mantener un flujo de aire en cantidad y calidad que sea suficiente según el número de trabajadores y total de HP's de equipos Diesel para la dilución de gases y contar con un ambiente de trabajo óptimo.

5.2.1. Caudal requerido por el número de personal

Para las operaciones de exploración y avance, en el CX 8025, se considera un total de 07 personas (N) por guardia, siendo:

- Trabajos de exploración E.C. ESEPER
 - 1 operador
 - 1 ayudante
 - 1 supervisor
- Labor de avance de la E.C. RESEFER
 - 1 operador de jumbo
 - 1 ayudante
 - 1 capataz
 - 1 jefe de guardia

El consumo de aire mínimo (F) para una persona de 1500 msnm a 3000 msnm es de 4m³/min

$$Q_{Tr} = N \times F$$

$$Q_{Tr} = 7 \times 4 \times 35.31$$

$$Q_{Tr} = 988.68 \text{ CFM}$$

5.2.2. Caudal requerido por equipo Diesel

- Para una labor auxiliar se considera el equipo de mayor consumo de HP, para lo cual se selecciona un scooptram de 220 HP efectivos corregido por altitud.
- La cantidad mínima de aire circulante debe ser de 3m³/min por cada Hp consumido de equipo siendo:

$$Q_{Eq} = 3 \times HP \times 35.31$$

$$Q_{Eq} = 23,304.6 \text{ CFM}$$

5.2.3. Caudal requerido por fugas

El caudal requerido por fugas es el 15% de la adición del caudal requerido por personal y por equipo diésel siendo:

$$Q_{Fu} = 15\%Q_{T1} = 15\%(Q_{Tr} + Q_{Eq})$$

$$Q_{Fu} = 15\%(988.68 + 23,304.6)$$

$$Q_{Fu} = 3,643.99 \text{ CFM}$$

5.2.4. Requerimiento de aire total

El requerimiento de aire total para el CX 8025 es la suma del subtotal del caudal requerido por personal, caudal por equipo diésel, y el caudal producido por fugas.

$$Q_{To} = Q_{T1} + Q_{Fu}$$

$$Q_{To} = 24,293.28 + 3,643.99$$

$$Q_{To} = 27,937.27 \text{ CFM}$$

Tabla 22*Resumen cantidad de aire requerido para el CX 8025*

Descripción	Flujo de aire requerido (m3/min)	Flujo de aire requerido (CFM)
Número de personal	28	988.68
Uso de equipo diésel	660	23,304.60
Por fugas	103.2	3,643.99
Total	3,643.99	27,937.27

Fuente. Elaboración propia

5.3. Cobertura de ventilación

En el CX 8025 se tiene un suministro de caudal de ingreso de 30,000 CFM por medio de 2 ventiladores conectados en serie. Sin embargo, el caudal registrado en el frente de avance (6855.93 CFM) y CA DDH 8112 (5557.96 CFM) que en conjunto es 12,413.89 CFM. El caudal requerido para esta labor es de 27,937.27 CFM, por lo que la cobertura de aire deberá ser mayor al 100%.

$$C = \left(\frac{Q_i}{Q_{To}} \right) \times 100$$

- Q_i : Caudal suminsitrado (CFM)
- Q_{To} : Caudal requerido (CFM)

$$C = \left(\frac{12,413.89}{27,937.27} \right) \times 100$$

$$C = 44.43\%$$

Con el caudal obtenido de las mediciones realizadas en campo del CX 8025 se obtuvo un déficit de un 44% del requerimiento, resultando por debajo del 100% como lo indica la norma vigente D.S. 023-2017 EM.

5.4. Simulación VentSim del sistema actual

De acuerdo según la configuración establecida previamente en el CX 8025 de la mina San Vicente, y a los resultados de las mediciones realizadas en campo; se ajusta el modelo para poder determinar su diagnóstico actual y realizar el diseño óptimo de un sistema de ventilación que permita la reducción de ácido sulfhídrico (H_2S).

5.4.1. Configuración de parámetros en VentSim

Para la calibración del modelo del CX 8025 de la mina San Vicente, se debe configurar parámetros medioambientales en el software VentSim, estos son tomados en campo y entregados por la misma compañía minera SIMSA.

- Altura de nivel de referencia en superficie: 1,500.0 msnm.
- Densidad del aire: 1.04 kg/m³
- Temperatura de bulbo seco: 10 °C.
- Temperatura de bulbo húmeda: 8.3 °C.
- Presión barométrica en la superficie: 84.6 kPa.
- Método aplicado: Presión total.
- Costo de energía: 0.07 US\$/Kw-Hora.

5.4.2. Parámetros actuales de operación

- Cota de operación: 1500 m.s.n.m.
- Sistema de minado: Mecanizado (trackless)

- Método de explotación: Corte y relleno ascendente con cámaras y pilares
- Tipo de labor: Labor de exploración
- Perforación: Jumbo electrohidráulico
- Limpieza: Scooptram 6yd3
- Número de guardias: 02gd/día
- Horario de trabajo:
 - Turno día: 7:00am a 7:00pm
 - Turno noche: 7:00pm a 7:00am
- Horario para las voladuras:
 - 6:30am a 7:00am
 - 6:30pm a 7:00pm
- Personal por gda: 7
- Número de equipos Diesel: 1
- Total, de potencia efectiva HP's: 220 HP
- Número de disparos: 1 por día
- Tipo de explosivo: Emulsión
- Tipo de sostenimiento: Malla electrosoldada y perno Swellex de 7ft
- Velocidad mínima de aire: 20m/min
- Velocidad máxima de aire: 250m/min
- LMP:
 - O₂: 19.5%
 - H₂S: 10ppm
 - CO: 25ppm
 - CO₂: 5000ppm
 - NO₂: 3ppm

5.4.3. Factor de fricción

La configuración del factor de fricción es apoyada según el tipo de la labor, tipo de sostenimiento o revestimiento, características geométricas de la labor tal que se pueda justificar la caída de presión, y resistencia a vencer por pérdidas por fricción para lo cual se considera los parámetros especificados en el software VentSim como se observa en la Figura 34.

Figura 34

Factor de fricción software VentSim

# En Uso	Nombre de fricción	Valor	Rugosidad m	Densidad de referencia kg/m³
55 (148)	A medida			
290 (457)	Auto			
	Roca Típica	0.012	0	1.04
	Roca lisa	0.0085	0	1.04
	RB 3.0m	0.005	0	1.04
24 (27)	RB 2.1m	0.0056	0	1.04
47 (49)	RB 1.5m	0.006	0	1.04
3472 (3923)	Rampa Shot + pemo	0.013	0	1.04
	Pared de roca muy áspero	0.02	0	1.04
	Pared de roca dura	0.015	0	1.04
150 (211)	Manga de ventilación	0.0033	0	1.04
	Galería	0.014	0	1.04
	Eje RaiseBored	0.005	0	1.04
	Eje enmaderado	0.03329999	0	1.04
	Eje alineado concreto	0.0033	0	1.04
2	Crucero	0.0121	0	1.04
	Conjuntos eje concreto	0.04170001	0	1.04
	Conducto flexible	0.0029	0	1.04

Fuente: Software VentSim.

5.4.4. Calibración del software VentSim

Una vez creado el modelo, se procede a determinar el grado de validez correlacionando los datos obtenidos por el simulador VentSim con los datos de las mediciones realizadas en campo. Se recomienda que su variación no supere el $\pm 10\%$ con respecto al flujo tomado en campo, ya que esta diferencia puede ocasionarse por la dinamicidad de la mina, error en el uso

de instrumentos de medición, equipos en movimiento, presencia de reguladores o tapones con aberturas.

$$\text{Variación} = \frac{(\text{Flujo de campo} - \text{Flujo de simulación})}{\text{Flujo de campo}} \times 100$$

La Tabla 23 muestra el caudal medido en campo y el obtenido en el software VentSim, ambas mediciones se hicieron en el frente de avance del CX 8025 en unidades CFM

Tabla 23

Calibración por variación de caudal

Labor	Nivel	Caudal (CFM)		Distrib %
CX 8025	NV 1370	Campo	6855.9	-2.1
CX 8025	NV 1370	VentSim	7000.0	

Fuente. Elaboración propia

Por lo que se obtiene una diferencia de -2.1%, este valor se encuentra dentro de lo recomendado, siendo así se puede trabajar efectivamente con el software VentSim ya calibrado.

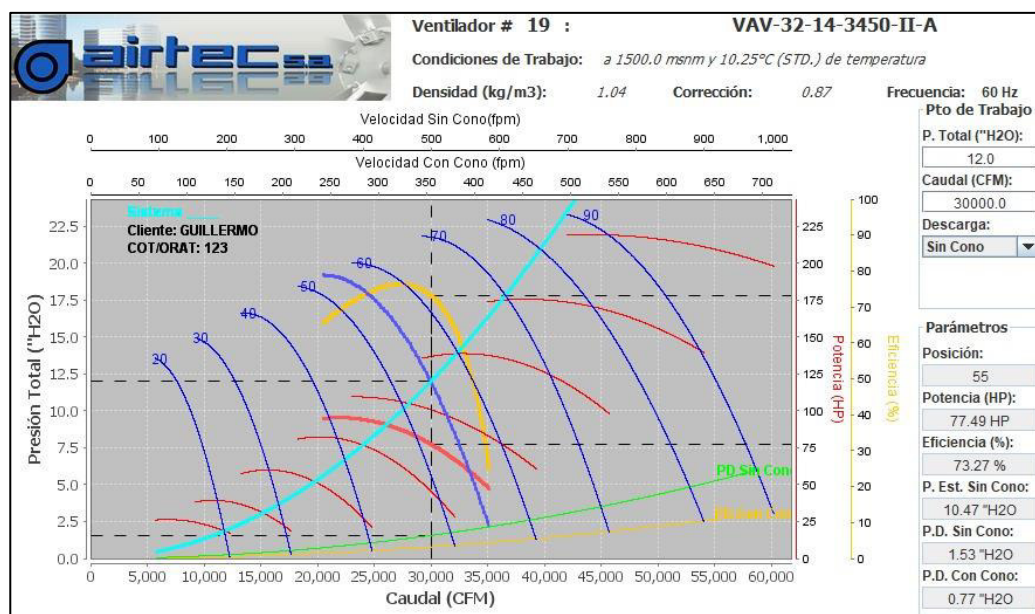
5.4.5. Curva característica de ventilador

El CX 8025 cuenta con un frente de avance y presenta labores de exploración en operación, tiene desarrollado alrededor de los 480m, por la cual se ventila mediante 2 ventiladores de la marca AIRTEC conectados en serie. El primero ubicado a 100m del crucero, en la Rp 240 donde capta aire limpio del circuito principal y el segundo a 295m del primer ventilador.

Ambos ventiladores llevan los mismos parámetros técnicos, de tipo ventilador de álabe variable con 32" de diámetro de carcasa con un diámetro de rotor de 14", con 3450 r.p.m. de doble etapa y serie A, descrito como VAV-32-14-3450-II.A. Impulsa un caudal de 30,000 CFM. Genera una presión total de 12" H₂O, presión dinámica de 1.53" H₂O y presión estática de 10.47" H₂O, para condiciones de trabajo @ 1500 m.s.n.m. (1.04Kg/m³).

Figura 35

Curva característica, ventilador 30 000 CFM



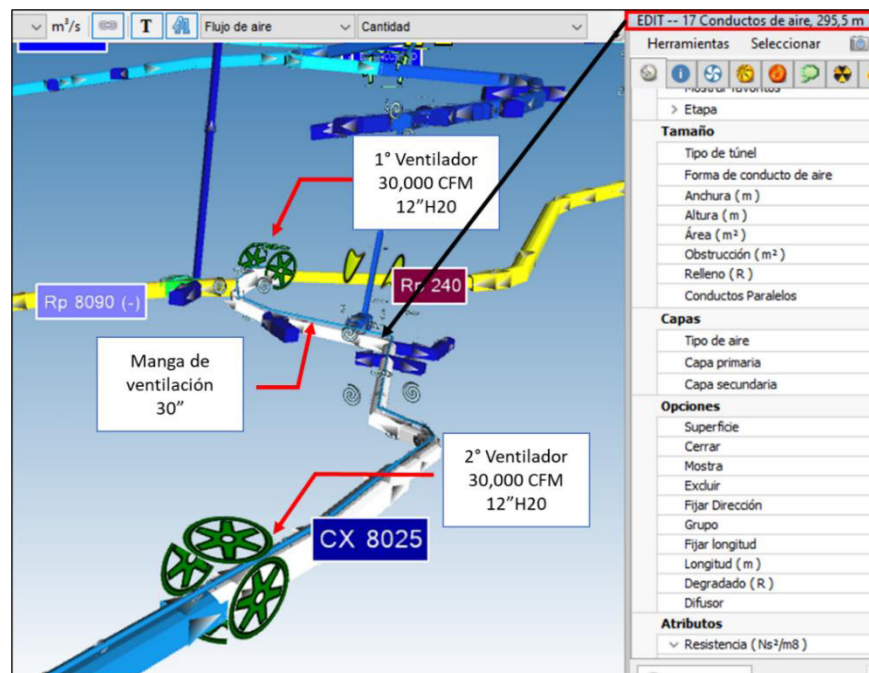
Fuente: Programa AIRTEC.

5.4.6. Sistema de ventilación auxiliar

El primer ventilador inyecta 30,000 CFM por medio de una manga de ventilación de 30" (0.762m) de diámetro, la cual desde su ubicación en la Rp 240 recorre 295m hacia el segundo ventilador conectado en serie.

Figura 36

Ventilador conectado en serie -CX 8025



Fuente. Elaboración propia

Para determinar la longitud de alcance óptima se empleará la ecuación de Atkinson despejando la longitud para obtener el alcance óptimo según los parámetros técnicos del ventilador y la manga de ventilación por donde circulará el aire. Para su aplicación se realizará en unidades métricas internacionales.

$$L = \frac{P \times A^3 \times 1.2}{K \times Per \times W \times Q^2}$$

Donde:

- L: Longitud de alcance (m)
- P: Presión (Pa)
- A: Área del conducto (m²)
- K: Factor de fricción (Kg/m³)
- Per: Perímetro del conducto (m)
- W: Densidad (kg/m³)
- Q: Caudal (m³/s)

Tabla 24

Parámetros técnicos del 1° ventilador y manga de ventilación

Parámetro	Valor	Unidad
Ventilador		
Caudal	14.158	.m ³ /s
Presión	2986.08	Pa
Densidad	1.04	Kg/m ³
Manga de ventilación		
Diámetro	30	plg
Perímetro	2.39	m
Área	0.46	m ²
Factor de fricción	0.003	Kg/m ³

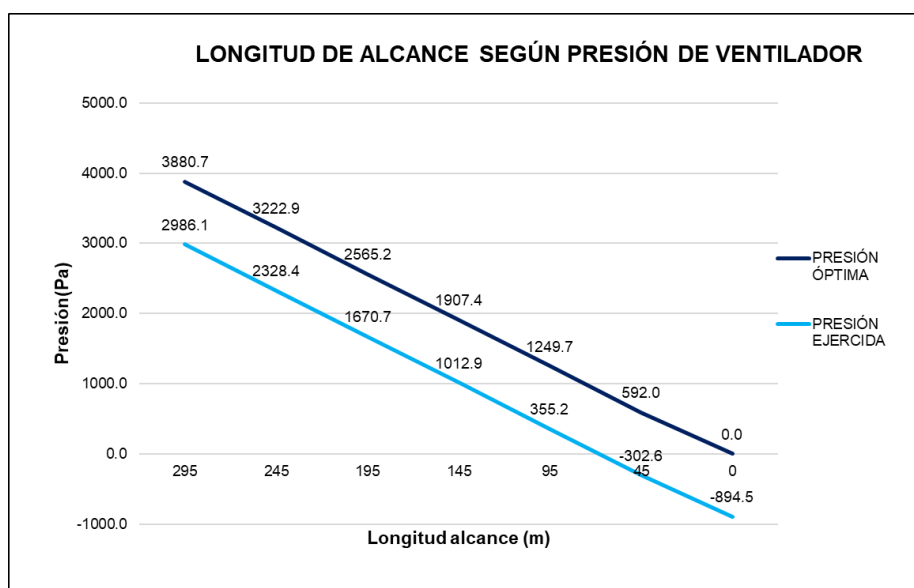
Fuente. Elaboración propia

Para un ventilador que genera 30,000 CFM a una presión total 12" H₂O con un conducto de ventilación de 30", puede ventilar eficientemente 227m.

El Gráfico 4 muestra la presión ejercida en base a los parámetros mencionados del ventilador y la manga de ventilación, y según está el alcance óptimo que tendrá para llevar aire limpio.

Gráfico 4

Longitud de alcance óptimo de ventilación



Fuente. Elaboración propia

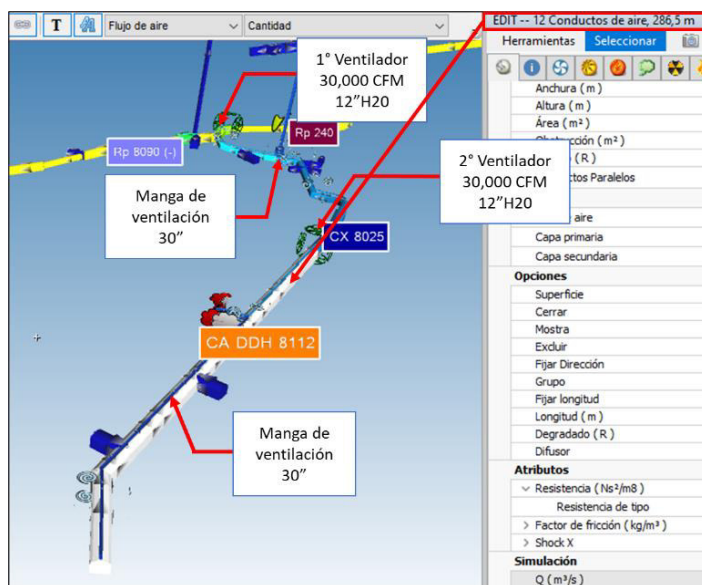
Se observa que para poder ventilar los 295m hasta llegar al 2° ventilador con los mismos parámetros, el primer ventilador deberá tener una presión de 3880.7 Pa. El ventilador instalado es de 2986 Pa (12" H₂O), y ventila de forma óptima 227m. Sin embargo, su instalación recorre 295m, al continuar extendiéndose la manga de ventilación 68m más de su alcance efectivo para llegar a conectar un segundo ventilador en serie, la presión se torna negativa por no poder abastecer la longitud pretendida, lo cual perjudica el rendimiento del segundo ventilador.

Tabla 25*Longitud de alcance del 1er ventilador*

PRESIÓN ÓPTIMA		PRESIÓN EJERCIDA	
Longitud de alcance (m)	Presión (Pa)	Longitud de alcance (m)	Presión (Pa)
295	3880.7	227.0	2986.1
245	3222.9	177.0	2328.4
195	2565.2	127.0	1670.7
145	1907.4	77.0	1012.9
95	1249.7	27.0	355.2
45	592.0	-23.0	-302.6
0	0.0	-68.0	-894.5

Fuente. Elaboración propia

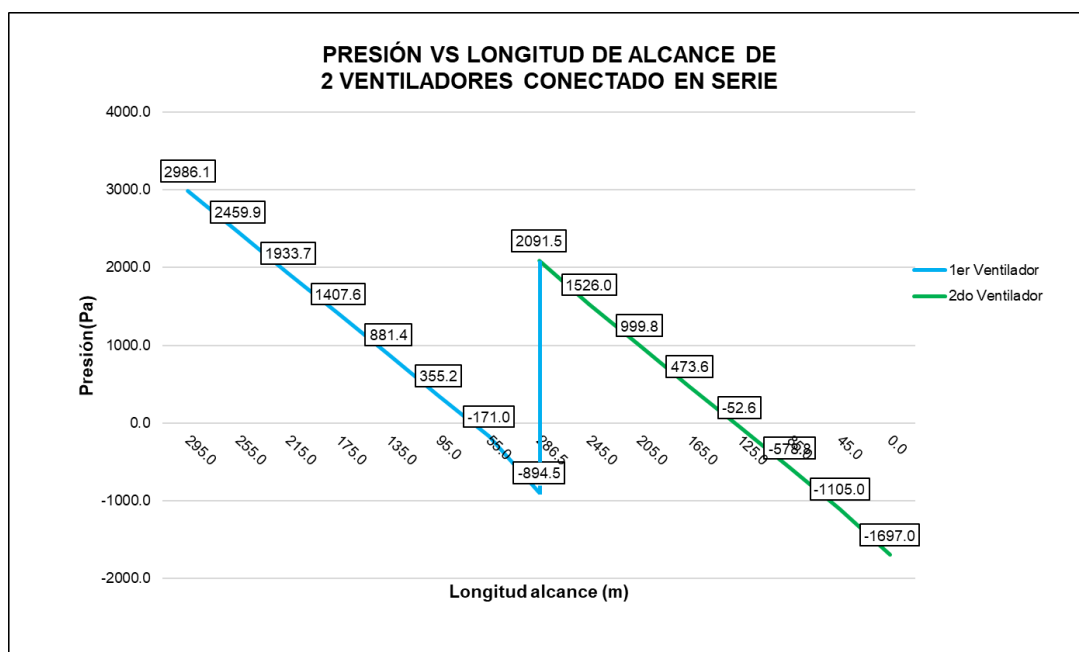
El segundo ventilador inyecta 30,000 CFM y ejerce la misma presión de 12" H₂O por medio de una manga de ventilación de 30" (0.762m) de diámetro. Está recorre 286.5m hacia el frente de avance.

Figura 37*Segundo Ventilador conectado en serie -CX 8025**Fuente.* Elaboración propia

El Gráfico 5 muestra el comportamiento de presión vs longitud de alcance en base a los 2 ventiladores instalados en serie.

Gráfico 5

Alcance de 2 ventiladores en serie, CX 8025



Fuente. Elaboración propia

Se observa que el segundo ventilador se colocó a 295m del primer ventilador, obteniéndose una presión residual final de -894.5 Pa. Debido a esto, el 2° ventilador no puede ejercer su presión inicial estándar de 2986.1 Pa. Esta presión de llegada obliga al segundo ventilador a reducir su presión inicial a 2091.5 Pa, ocasionando deficiencias en el sistema ventilación como recirculación, succión de la manga de llegada y daños futuros al ventilador.

La Tabla 26 muestra la relación de alcance y presión para los 2 ventiladores conectados en serie.

Tabla 26*Alcance del 1° y 2° ventilador conectados en serie*

Longitud recorrida (m)	1er Ventilador		2do Ventilador	
	Longitud de alcance de ventilador(m)	Presión ejercida (Pa)	Longitud de alcance de ventilador(m)	Presión ejercida (Pa)
295.0	227.0	2986.1		
255.0	187.0	2459.9		
215.0	147.0	1933.7		
175.0	107.0	1407.6		
135.0	67.0	881.4		
95.0	27.0	355.2		
55.0	-13.0	-171.0		
286.5	-68.0	-894.5	156.0	2091.5
245.0			116.0	1526.0
205.0			76.0	999.8
165.0			36.0	473.6
125.0			-4.0	-52.6
85.0			-44.0	-578.8
45.0			-84.0	-1105.0
0.0			-129.0	-1697.0

Fuente. Elaboración propia

Se observa que el segundo ventilador con una presión inicial de 2091.5 Pa, provoca que su longitud de alcance efectivo se reduzca a 156m. No obstante, se instaló 286.5m, es decir 129.5m no se está ventilando eficientemente.

5.4.7. Consumo de energía-costo de ventilación

El costo por consumo de energía de la mina es de 0.07 US\$/Kw-hr, dicho valor permite determinar el costo de ventilación correspondiente al sistema de ventilación auxiliar en el CX 8025.

Tabla 27*Consumo de energía CX 8025*

Parámetro	Valor	Unidad
N° ventiladores	2	Und.
Potencia de ventilador	81.6	Hp
CX 8025	0.07	US\$/Kw-hr

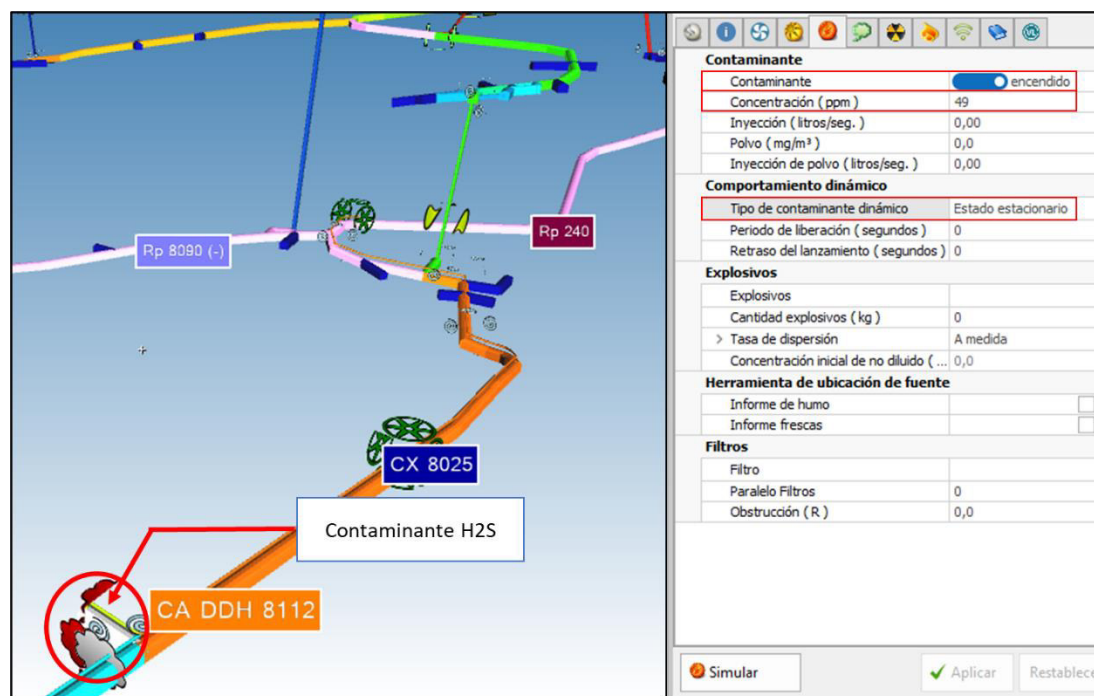
Fuente. Elaboración propia

Para 2 ventiladores conectados en serie de 75 HP cada uno se tiene que, el costo por consumo de energía es 7.83 US\$/hr utilizando 0.7457 como factor de conversión de HP a Kw. El costo anual de ventilación del CX 8025 asciende a 74,625.36 US\$/año.

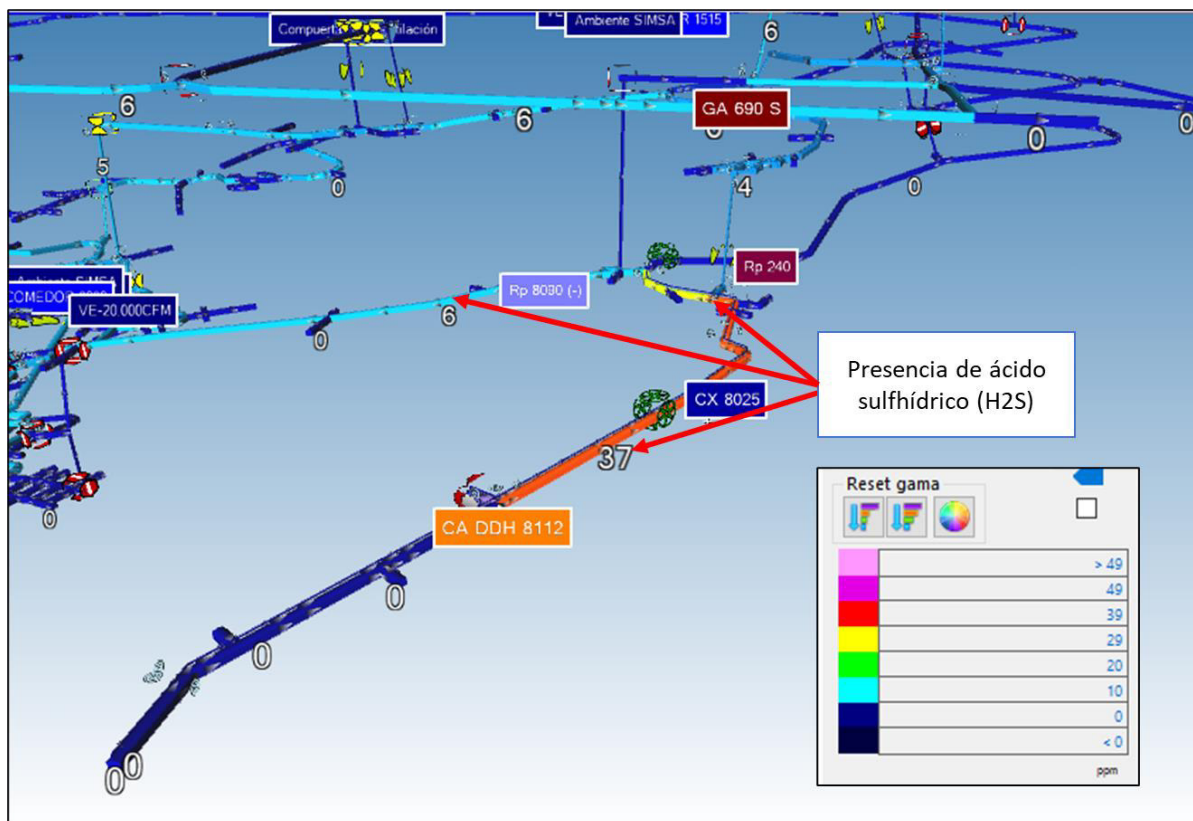
5.4.8. Simulación de contaminante

La cámara diamantina CA DDH 8112 es la fuente de generación de contaminante ya que la realización de sondajes diamantinos ocasiona la liberación de gas ácido sulfhídrico (H₂S), para esto se va a insertar en el software VentSim el parámetro determinado contaminante seleccionando dicha cámara.

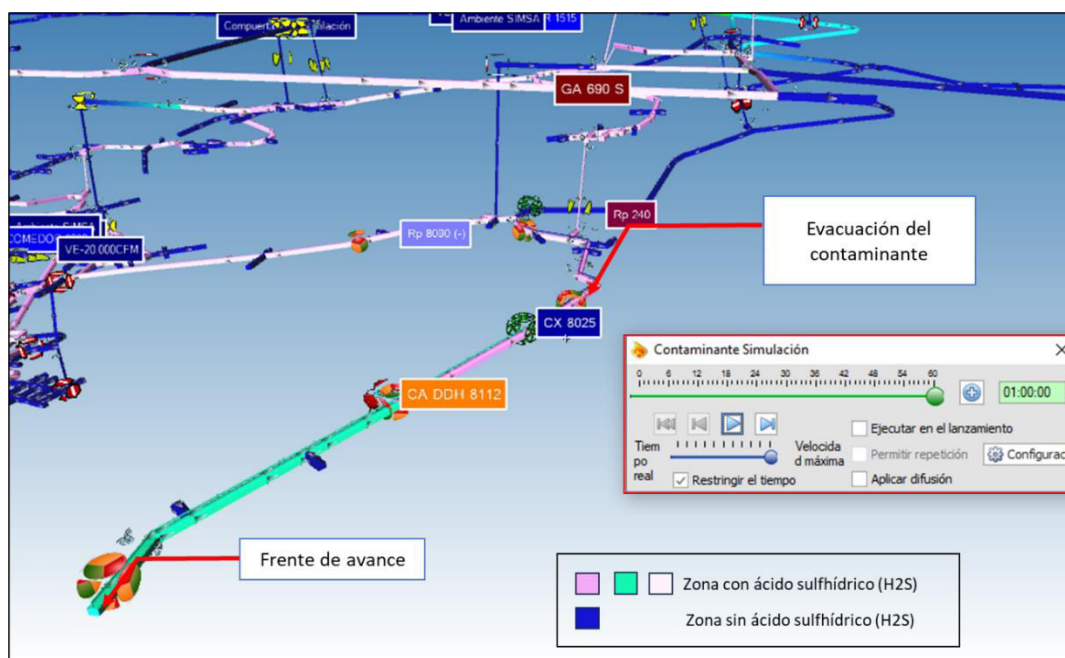
La Figura 38 muestra la configuración de contaminante para la CA DDH 8112. En base a los valores obtenidos en campo, en el peor de los casos se tuvo una concentración de ácido sulfhídrico de 49 ppm, por ende, se considera ese valor en el software. En un comportamiento dinámico, se configura la simulación del ácido sulfhídrico como un contaminante en estado estacionario, a diferencia de los gases liberados productos de voladura, este se libera constantemente por los taladros diamantinos ejecutados al encontrar aguas dolomíticas.

Figura 38*Configuración de contaminante**Fuente. Elaboración propia.*

Al simular el contaminante, se observa que el ácido sulfhídrico como aire viciado se desplaza desde la CA DDH 8112 (fuente de contaminación) hacia la salida del CX 8025, no obstante, una parte del aire viciado es recogido por los ventiladores debido a la deficiente configuración del segundo ventilador en serie (Gráfico 5), lo que genera recirculación en el frente de avance lo cual se pudo evidenciar en el monitoreo de gases realizada en campo en el frente de avance ya que se registraron pequeñas cantidades de ácido sulfhídrico y dióxido de nitrógeno. (Figura 39).

Figura 39*Simulación de contaminante**Fuente. Elaboración propia***5.4.9. Simulación dinámica de contaminante**

Con el uso de la herramienta denominada “Simulación dinámica” se va a simular el comportamiento del contaminante de ácido sulfhídrico (H₂S) desde la fuente en la cámara diamantina CA DDH 8112 y su alteración en las condiciones del aire de la mina en tiempos más específicos. Por configuración estándar del software VentSim la simulación se realiza en un tiempo de 60 min como lo muestra la Figura 40.

Figura 40*Resultados de la simulación dinámica**Fuente.* Elaboración propia

Se observa que desde la CA DDH 8112 (fuente de contaminante), el ácido sulfhídrico sale a una velocidad relativamente lenta por el CX 8025 hacia la Rp 240 lo cual produce el acolchonamiento de gas ácido sulfhídrico y los altos niveles de ácido sulfhídrico monitoreado en la CA DDH 8112, además de ello en su retorno por el CX 8025, una parte es recogida por el 2° ventilador ocasionando recirculación en el frente de avance como se registró en las tablas de monitoreo de gases en el frente de avance.

5.5. Diagnóstico del sistema de ventilación del CX 8025

Durante las mediciones en campo se pudo observar que, el ácido sulfhídrico al retornar por el crucero debido al sistema impelente de aire limpio, este se acolchona y su dilución no es

la óptima ya que se tienen niveles que exceden a los límites permisibles. En la simulación realizada en el software VentSim, se pudo analizar que, el aire viciado proveniente del CX 8025 se dirige hacia el circuito principal de aire limpio en la Rp 240 y desciende por la Rp 8090 (-) hacia la zona de profundización donde se encuentra las labores de producción de SIMSA.

Una de las principales desventajas de tener solo un sistema de inyección o impelente es que, los contaminantes al combinarse con el aire en el frente recorren la longitud total de la labor y a medida que el aire retorna, la velocidad relativamente lenta dificulta su evacuación y produce el acolchonamiento de gases generados (McPherson, 2009).

Debido a que el CX 8025 es un proyecto de 1291 m de longitud en desarrollo que se justifica en la exploración con sondajes diamantinos para la continuidad de la Rp 240, a medida que siga avanzando, la evacuación de gas ácido sulfhídrico liberado en las cámaras diamantinas será cada vez más lenta tendiendo a acolchonarse en la labor como se ha venido registrando en las mediciones de campo, para lo cual es necesario diseñar una labor que ayude en la evacuación y redirección del aire viciado hacia el sistema principal de extracción, además de reconfigurar el sistema de inyección de ventilación en serie para no generar pérdidas de presión.

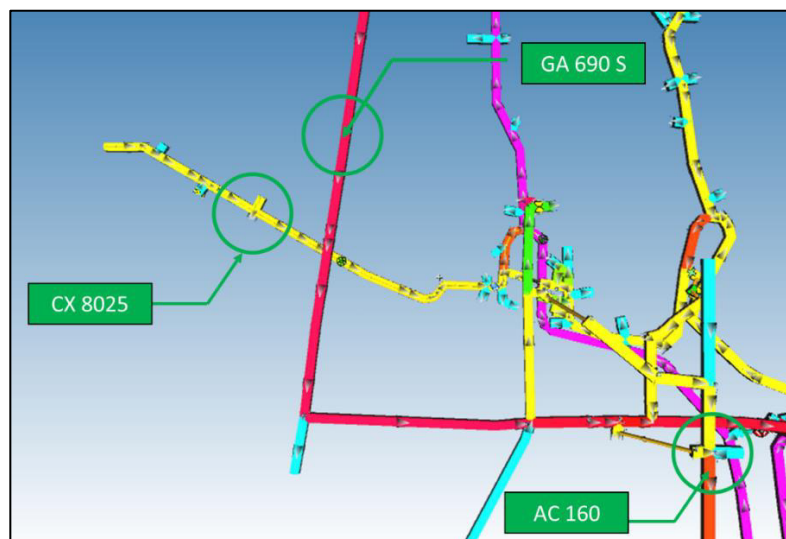
5.6. Diseño de sistema de extracción de aire viciado

5.6.1. Chimenea de extracción tipo Rb

Por diferencia de cotas, el CX 8025 se ubica aproximadamente a 155m de la Ga 690 S, que es parte del circuito principal de extracción, esta labor extrae el aire viciado proveniente de la zona de profundización, la lleva hacia el Ac 160 y continua el circuito de extracción hacia las bocaminas ubicadas en la Ga 555 S. (Figura 41).

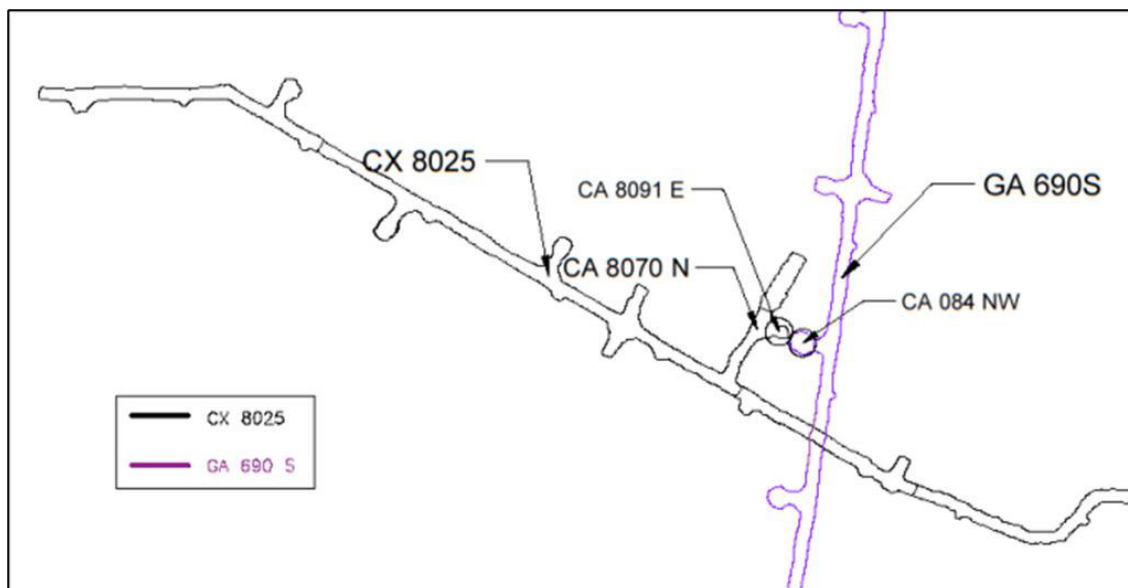
Figura 41

Vista de planta CX 8025 y GA 690 S



Fuente. Elaboración propia

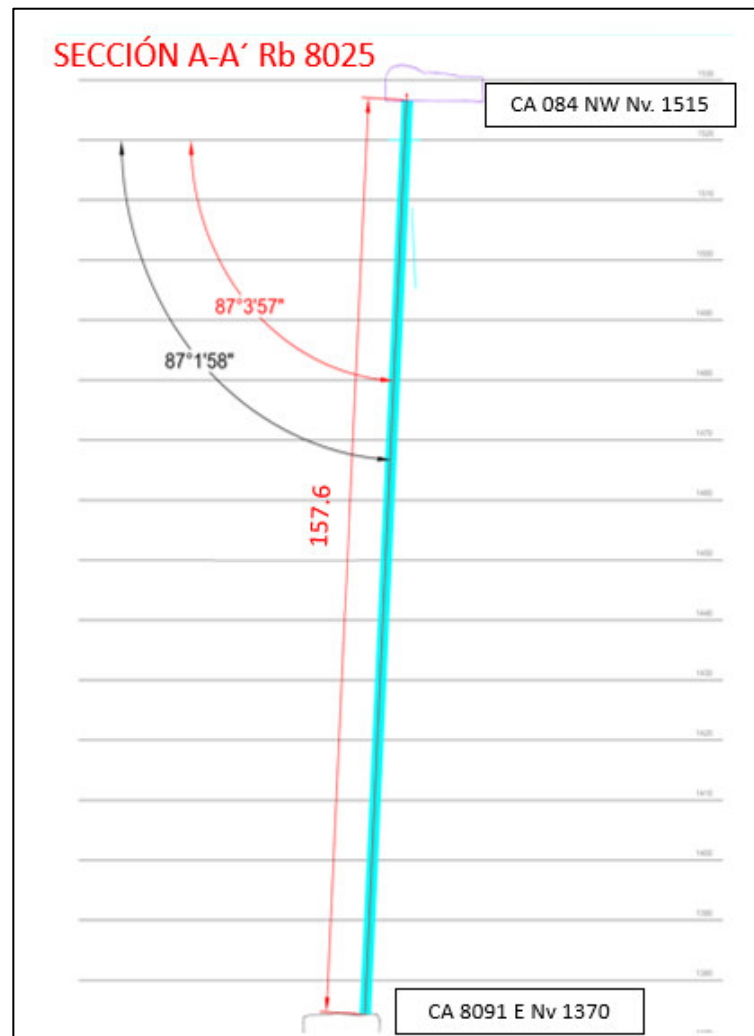
Para llevar el aire viciado hacia el sistema principal de extracción se construirá una chimenea tipo Raise Boring. En el Nv 1515 se cuenta con cámaras construidas anteriormente para lo que se aprovechará y utilizará la cámara existente CA 084 NW como la zona superior (cabeza) del Rb 8025 y en la zona inferior se construirá la cámara CA 8070 N y la CA 8091 E (pie) del Rb 8025 (Figura 42).

Figura 42*Ubicación del Rb 8025**Fuente. Elaboración propia*

De esta manera el pie del Rb 8025 se ubicará en la CA 8091 E en el CX 8025 del Nv 1370, la cabeza del Rb 8025 se ubicará en la CA 084 NW ubicado en la GA 690 S en el Nv. 1515. De forma que el aire viciado proveniente del CX 8025, subirá por el RB 8025 para expulsar el aire viciado al sistema principal de extracción por medio de la GA 690. (Figura 43).

Figura 43

Chimenea de extracción de aire viciado Rb 8025



Fuente. Elaboración propia

5.6.2. Selección de diámetro óptimo

Como ya se tiene la ubicación de la chimenea y la longitud determinada, se procede a seleccionar el diámetro óptimo para la chimenea Rb, para lo cual considera el costo de inversión de la chimenea (C_c), el costo de operación referido al consumo de energía (C_o) y el costo total (C) siendo la suma de ambos.

Se realiza la simulación considerando diámetros estándar de la mina San Vicente, estos son: 1.5m, 2.1m, 2.5, 3.0m, 3.4m, 4.2m. La longitud total de la chimenea Rb 8025 es de 157.6m, una vida máxima de 10 años. El factor de fricción tomado es para un tipo de revestimiento vertical redondo de 0.0056kg/m³. Se estima que la cantidad de aire que pasará por la chimenea será un caudal de 105 000 CFM, considerando que el proyecto CX 8025 es la justificación para la continuidad de la Rp 240, por lo que para proyectos futuros se requerirá inyectar mayor cantidad de aire, por consiguiente, la cantidad extracción de aire viciado también aumentará.

Tabla 28

Parámetros técnicos para la construcción de Rb 8025

Parámetro	Valor	Unidad
Densidad	1.04	Kg/m ³
Caudal	105 000	CFM
Factor de fricción-K	0.0056	Kg/m ³
Distancia	157	m
Vida	10	Años
Eficiencia	0.76	%
Costo de energía	0.07	\$/Kw-hr

Fuente. Elaboración propia

Tabla 29*Parámetros financieros para la construcción de Rb 8025*

Parámetro	Valor	Unidad
Costo de energía	0.07	\$/Kw-hr
Taza de interés	10	%
Costo unitario de excavación	282.94	\$/m3
Vida	10	Años

Fuente. Elaboración propia

Se procede a determinar el costo de inversión anual, costo de operación y costo total anual considerando los valores descritos previamente. En la Tabla 30 se muestra los diferentes costos obtenidos según el diámetro establecido.

Tabla 30*Costo anual para diámetro óptimo de Rb 8025*

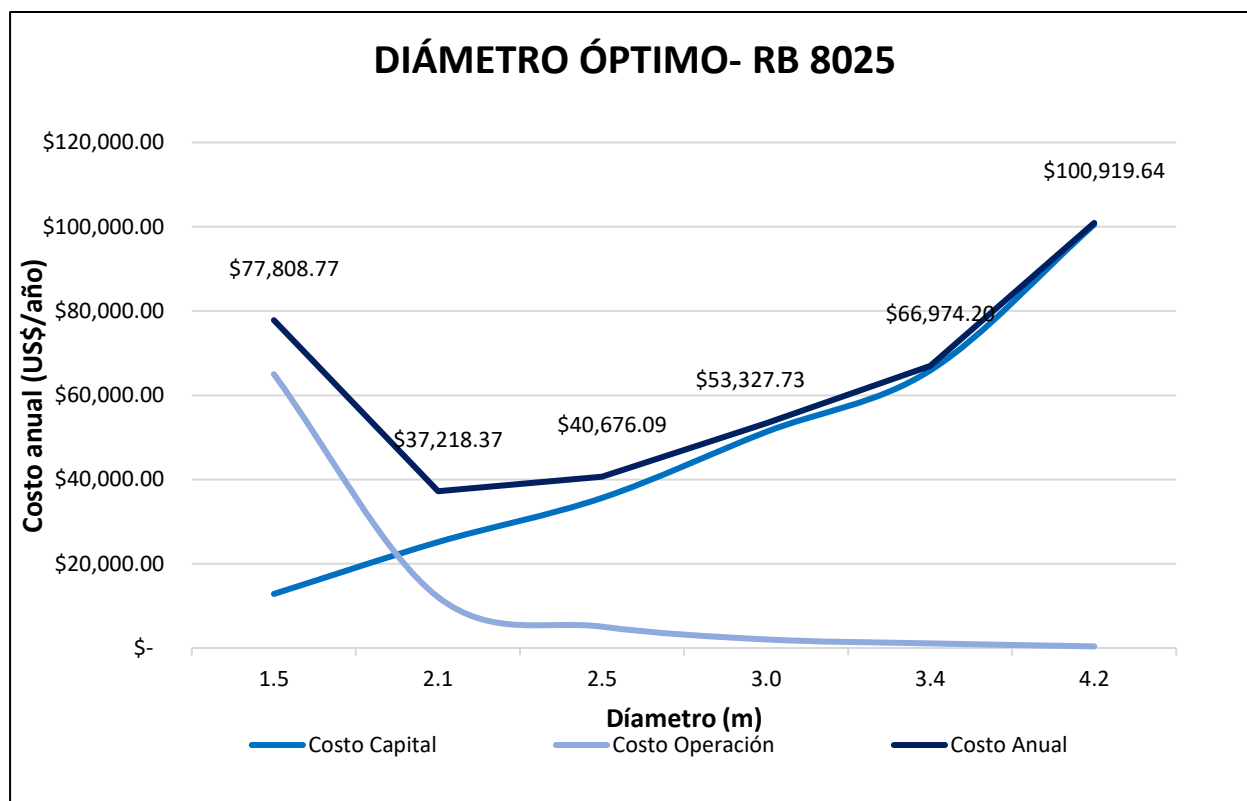
Diámetro (m)	Costo de excavación (\$/m)	Costo de inversión (\$)	Costo de inversión (\$/año)	Costo de operación (\$/año)	Costo Total anual (\$/año)
1.5	500.00	\$ 78,799.41	\$ 12,824.34	\$ 64,984.53	\$ 77,808.77
2.1	980.00	\$ 154,446.84	\$ 25,135.51	\$ 12,082.86	\$ 37,218.37
2.5	1388.89	\$ 218,887.25	\$ 35,622.89	\$ 5,053.20	\$ 40,676.09
3.0	2000.00	\$ 315,197.64	\$ 51,296.96	\$ 2,003.77	\$ 53,327.73
3.4	2568.89	\$ 404,853.85	\$ 65,888.10	\$ 1,086.10	\$ 66,974.20
4.2	3920.00	\$ 617,787.37	\$ 100,542.05	\$ 377.59	\$ 100,919.64

Fuente. Elaboración propia

En el Grafico 6 se visualiza los diferentes costos que incurren para la construcción y operación de la chimenea de extracción de aire viciado Rb 8025 para distintos diámetros.

Gráfico 6

Diámetro óptimo de Rb 8025



Fuente. Elaboración propia

Para una chimenea tipo Rb de 1.5m de diámetro la inversión será mínima pero el costo operativo será tan elevado que no será factible para extraer la cantidad de aire esperada. Para un diámetro de 4.2m el costo operativo será mínimo pero el costo de inversión resulta muy elevado. Para un diámetro de 2.1m se observa que el costo de inversión y costo operativo logran un costo anual mínimo a diferencia de los otros diámetros analizados. Para las condiciones brindadas el diámetro óptimo para su construcción es de 2.1m (7ft) con un costo total de \$ 37,218.37 anual.

Siendo los parámetros técnicos para la construcción del Rb 8025:

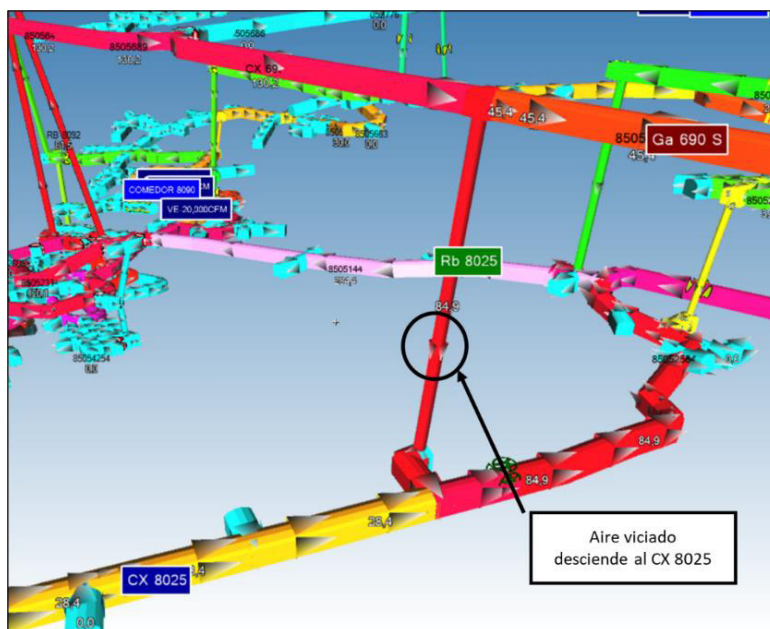
- Diámetro: 7ft (2.1m)
- Ángulo de inclinación 87° 1' 58" y 87° 3' 57"
- Longitud: 157.6m

5.6.3. Simulación VentSim Rb 8025

En la Figura 44 se muestra la simulación de extracción de aire viciado una vez construida la chimenea Rb 8025. No obstante, se puede apreciar en la simulación que una parte del aire viciado proveniente de la profundización al recorrer por la GA 690 S desciende por el Rb 8025. Al llegar al pie del Rb este se incorpora al CX 8025 generando recirculación ya que el aire viciado retorna hacia la Rp 240 y desciende por la Rp 8090 (-) para luego dirigirse hacia la zona de la profundización.

Figura 44

Simulación de chimenea de extracción Rb 8025

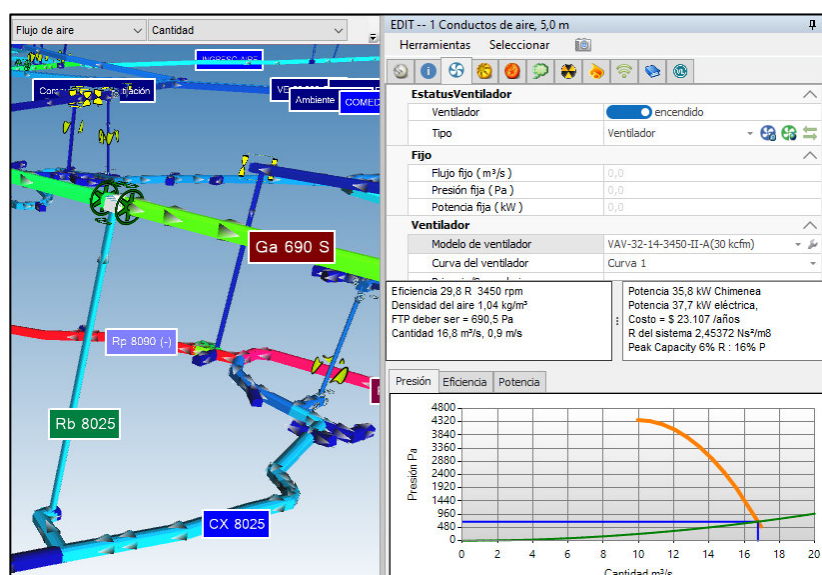


Fuente. Elaboración propia

Para invertir el sentido de circulación de aire viciado y redirigirlo hacia el circuito principal de extracción, es necesario instalar un ventilador extractor para evacuar todo el aire viciado del CX 8025. Para lo cual se procede a insertar un ventilador extractor en la CA 084 NW (cabeza Rb 8025), de tipo VAV-32-14-3450-II-A de capacidad de 30,000 CFM para evacuar los gases generados en el CX 8025, ajustado a una densidad de 1.04 kg/m³.

Figura 45

Parámetros técnicos de ventilador extractor- CA 084 NW, RB 8025

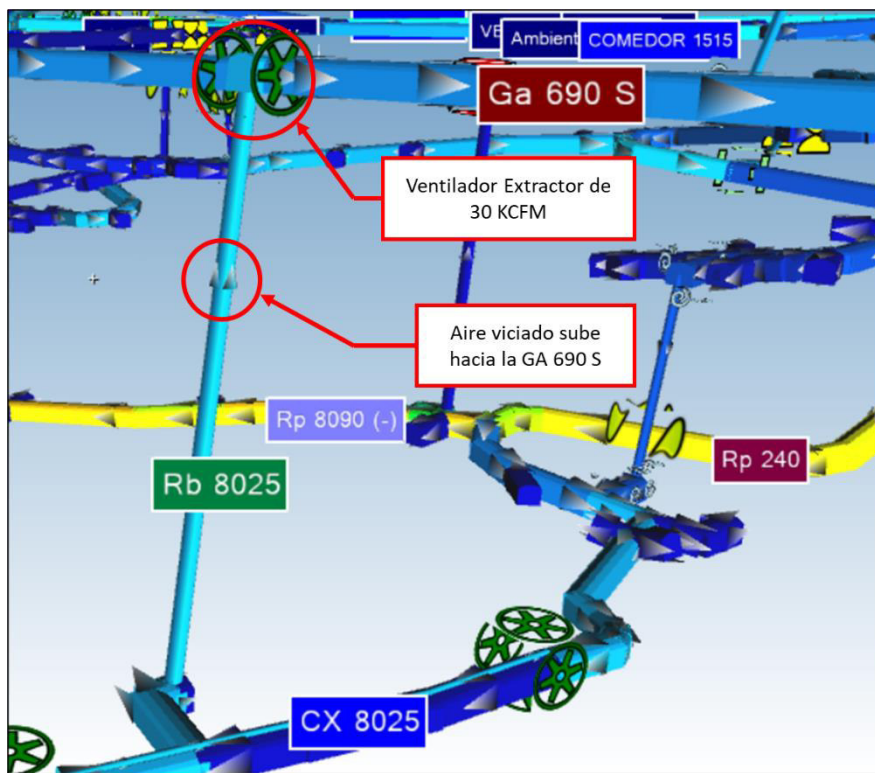


Fuente. Elaboración propia

Una vez colocado el ventilador en la cabeza del Rb 8025, se realiza la simulación de extracción de aire viciado con el ventilador instalado,

Figura 46

Simulación de ventilador extractor 30 KCFM- CA 084 NW, Rb 8025

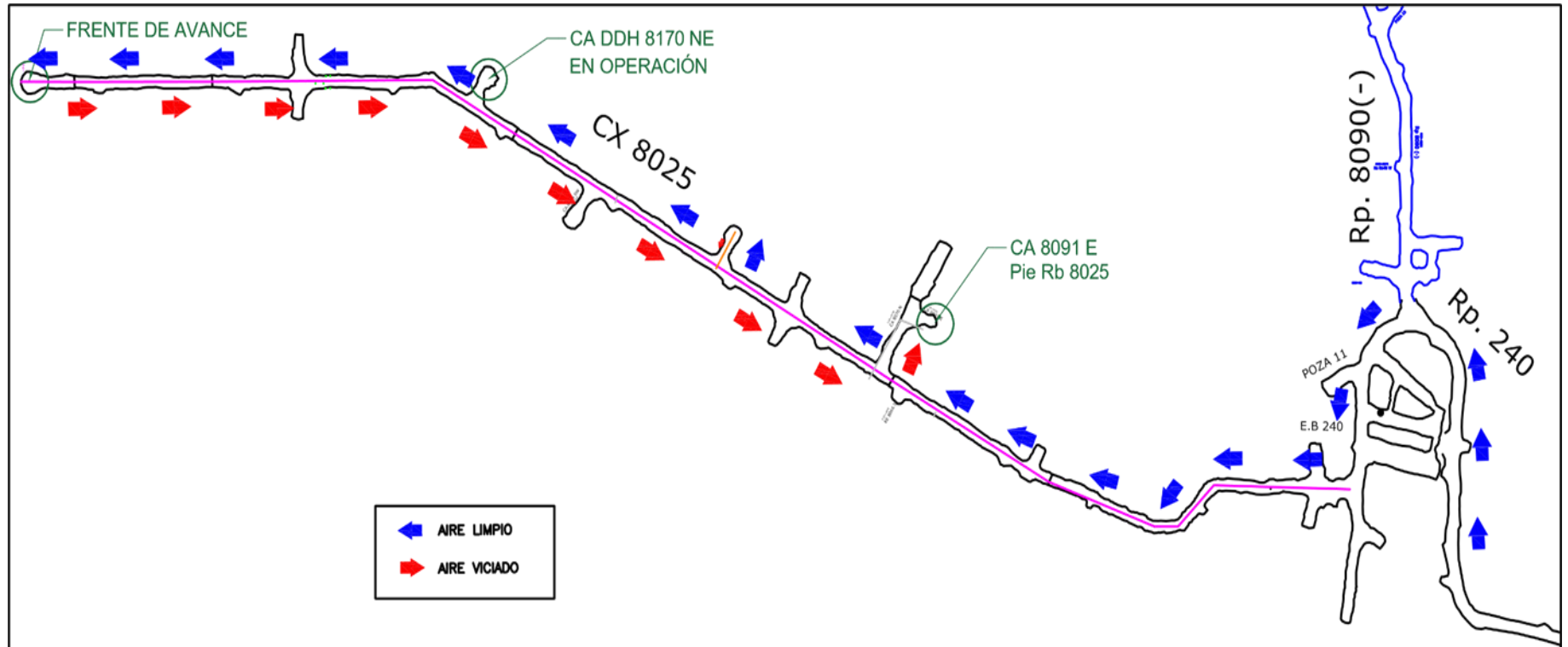


Fuente. Elaboración propia

Se evidencia la evacuación exitosa de gases generados en el CX 8025. El aire sube por el Rb 8025 hacia la GA 690 S para luego recorrer el circuito principal de extracción.

Figura 47

Vista de planta, CX 8025

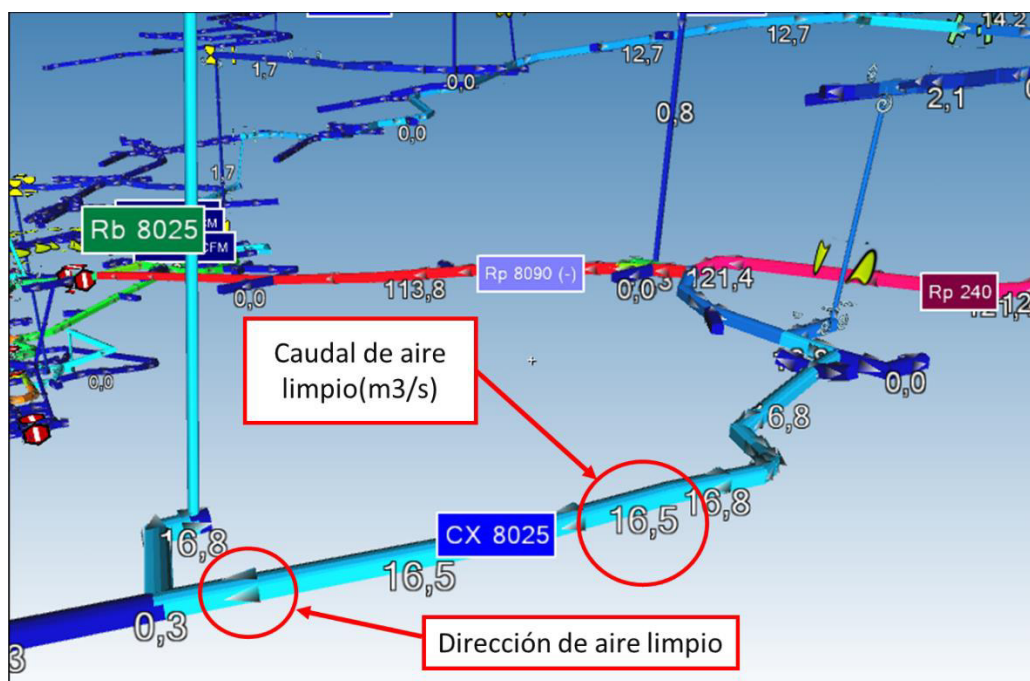


Fuente. Elaboración propia

Una vez ejecutado el Rb 8025 como sistema de extracción de aire viciado, se debe desarrollar el sistema de ingreso de aire limpio hacia las labores de exploración y avance. La Figura 49 muestra que el caudal de ingreso aire limpio por la Rp 240 hacia el CX 8025, es de 16.5 m³/s (34,000 CFM), no obstante, el aire limpio se dirige por la CA 8070N hacia el Rb 8025, para lo cual es necesario la instalación de un ventilador auxiliar y conducto de ventilación para direccionar el aire hacia las labores de avance y exploración del CX 8025.

Figura 49

Ingreso de aire limpio CX 8025

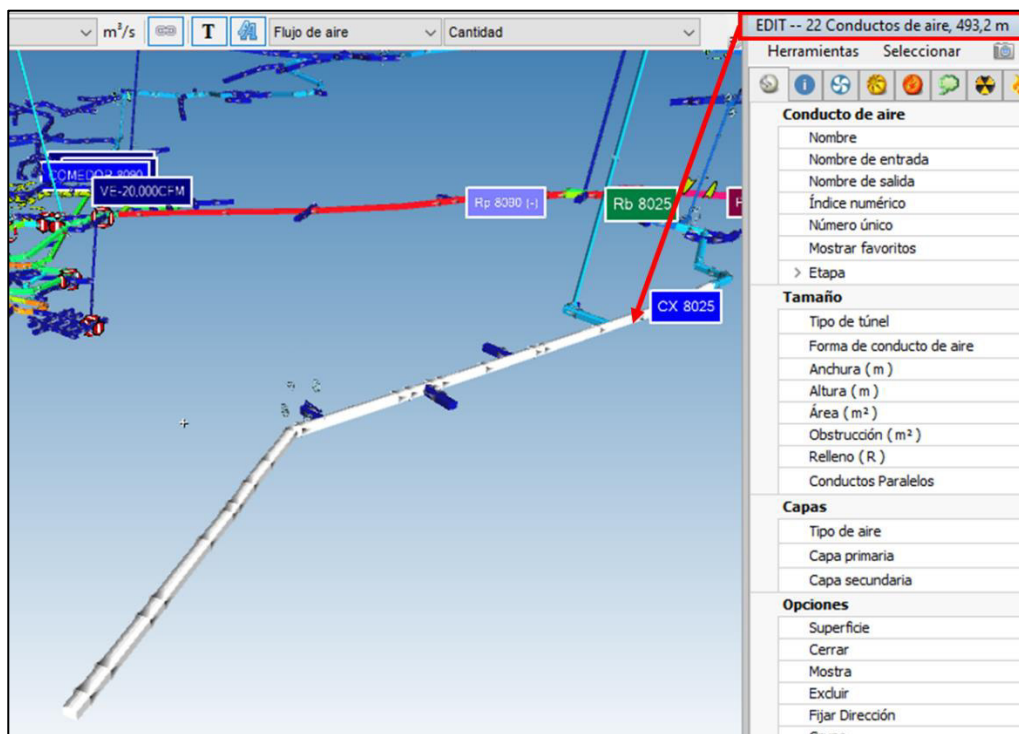


Fuente. Elaboración propia

Para la ubicación del ventilador se considerará la información detallada por el software VentSim mostrada en la Figura 49. En esta considerarnos la longitud de conducto desde el lugar estimado donde se instalará el ventilador hacia el frente de trabajo y cámara diamantina, siendo un aproximado de 494m como se observa en la Figura 50.

Figura 50

Ubicación del ventilador para el CX 8025



Fuente. Elaboración propia

Mediante la herramienta del software VentSim denominada “Calculadora de ductos” se configura un ventilador que genere un caudal de salida de 30, 000 CFM que sea capaz de ventilar de manera eficiente la cámara diamantina, el frente de avance.

5.7.1. Determinación de conducto de ventilación

El ventilador impelente estará ubicado según la Figura 50. Este debe captar una cantidad de aire suficiente que llega al CX 8025 para que sea capaz de descargar un caudal de aire limpio de 30 000 CFM. Se configura una densidad de 1.04 kg/m³, y se va a considerar la presencia de una curva en el recorrido de la manga.

Escenario A: Un conducto de ventilación

Como input inicial se coloca nuestro objetivo de ventilar en un alcance de 500m una cantidad de aire de 30 000 CFM, con una eficiencia del 75%. Se configura un ducto de ventilación de 0.812m (32") de diámetro ajustado a una densidad de 1.04 kg/m³ con una condición de manga de promedio a excelente (Figura 51).

Figura 51

Calculadora de ductos- Un conducto de ventilación

The screenshot shows the 'Calculadora de ductos' (Duct Calculator) software interface. It has a menu bar with 'Archivo', 'Ajustes de conversión', and 'Ayuda'. Below the menu is a table with headers: 'Ventilador Longitud', 'Ventilador Flujo', 'Potencia Longitud', 'Potencia Flujo', 'Presión Longitud', and 'Flujo Longitud'. The main input area contains the following fields:

- Flujo de salida: 30,0 kcfm
- Longitud del ducto: 500,0 m
- Eficiencia del: 75,0 R

Below these is a 'Ducto' section with the following fields:

- Ducto: A medida
- Forma: Ronda
- Tamaño: 0,812 m
- Factor de fricción: 0,0030 kg/m³
- Número de curvas: 1
- Densidad del aire: 1,04 kg/m³
- Fuga: 19952,6 Ns²/m⁸ / 100m
- Porosidad de fuga: 33,35 mm² / m²

At the bottom, there is a 'Condición del ducto' section with a slider and three labels: 'Muy pobre', 'Promedio', and 'Excelente'. The slider is positioned between 'Promedio' and 'Excelente'.

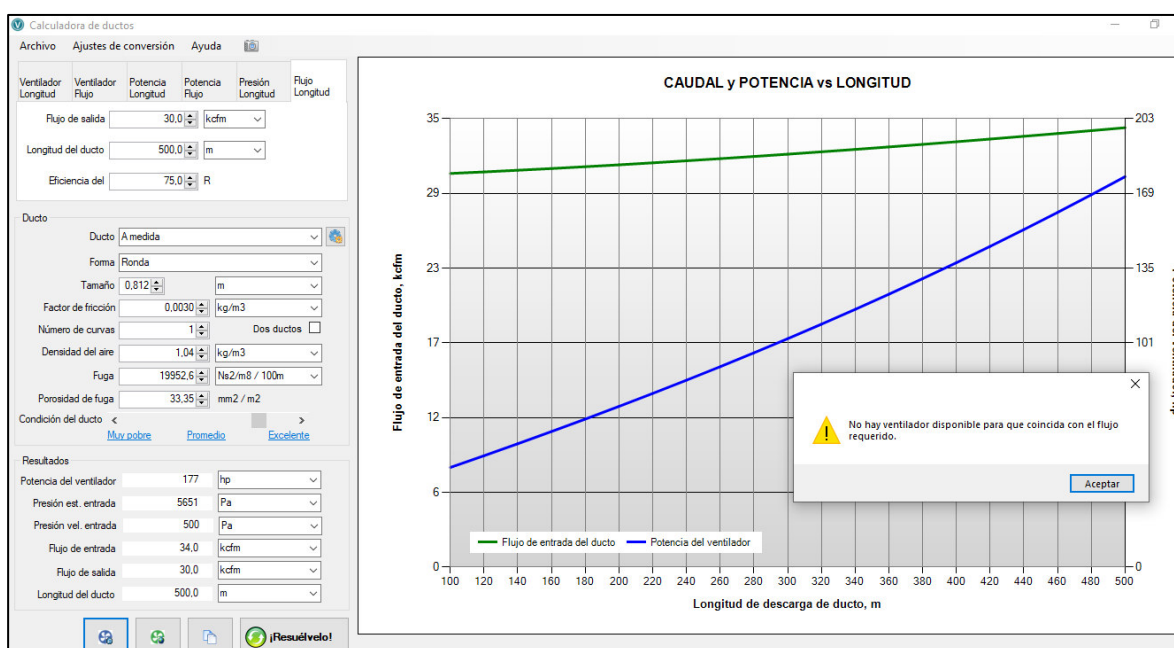
Fuente. Elaboración propia

Al simular las condiciones ingresadas se obtiene un ventilador que deberá ejercer una potencia de 177 HP con una presión de entrada de 5651 Pa para poder ventilar 500m con un solo conducto de ventilación.

La Figura 52 muestra que con los resultados obtenidos no se cuenta con ventiladores con las condiciones indicadas, esto debido que un solo conducto de ventilación incrementa el requerimiento de presión inicial que se debe tener para vencer la resistencia en el trayecto, lo cual aumenta la potencia ejercida y por ende el costo de ventilación también aumenta. Frente a estos casos se sugiere utilizar dos ventiladores conectados en serie, sin embargo, aumentaría el costo de ventilación por consumo de energía.

Figura 52

Resultados de un ventilador de 30 KCFM y un conducto de ventilación



Fuente. Elaboración propia

Escenario B: Doble conducto de ventilación

Para reducir la potencia ejercida y presión inicial para ventilar 500m con un caudal de 30 KCFM, se procede a simular con dos conductos de ventilación. En la Figura 53 se muestra en la calculadora de ductos el cambio en la configuración a 2 ductos de ventilación en paralelo, debido

a que la sección de la labor es de 4.0 x 4.0m no se podría instalar 2 conductos en paralelo de 32" ya que al circular los equipos lo romperían, por lo que se configura un diámetro de manga de ventilación de 0.762m (30") considerando la altura del equipo más grande que transitará por dicha labor sea el volquete de 35 toneladas cuya altura es de 2.7m.

Figura 53

Cálculo con doble conducto de ventilación

Calculadora de ductos

Archivo Ajustes de conversión Ayuda

Ventilador Longitud	Ventilador Flujo	Potencia Longitud	Potencia Flujo	Presión Longitud	Flujo Longitud
Flujo de salida 30,0 kcfm					
Longitud del ducto 500,0 m					
Eficiencia del 75,0 R					

Ducto

Ducto A medida

Forma Ronda

Tamaño 0,762 m

Factor de fricción 0,0030 kg/m3

Número de curvas 1

Densidad del aire 1,04 kg/m3

Fuga 19952,6 Ns2/m8 / 100m

Porosidad de fuga 35,54 mm2 / m2

Condición del ducto: ☐ Muy pobre ☒ Promedio ☐ Excelente

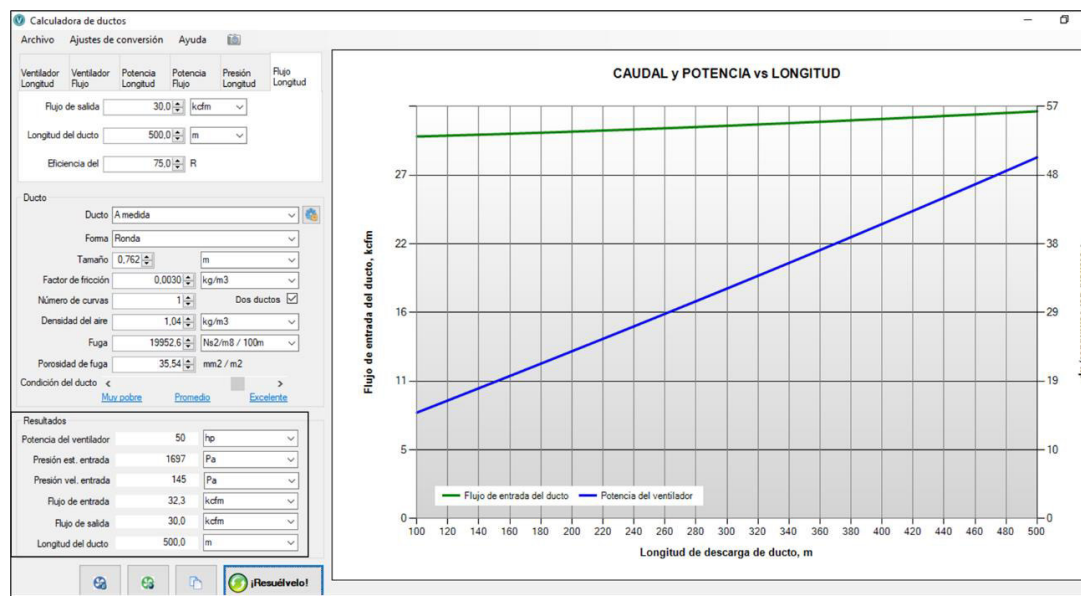
☒ Dos ductos

Fuente. Elaboración propia

Con los valores ingresados, se obtiene en la simulación que un ventilador deberá ejercer una potencia de 50 HP con una presión estática de entrada de 1697 Pa para lograr un caudal de descarga de 30 000 CFM a 500m de su instalación.

Figura 54

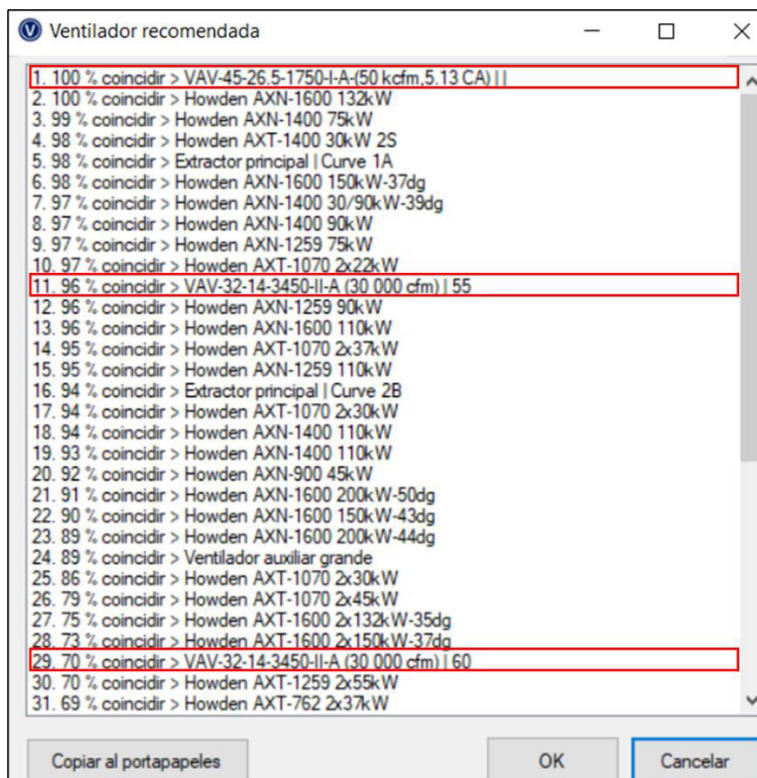
Resultados de un ventilador de 30 KCFM y doble conducto de ventilación



Fuente. Elaboración propia

Se procede a buscar en nuestra base de datos, un ventilador que se ajuste a las condiciones obtenidas para llevar un caudal de 30 000 CFM a 500m de su instalación.

La Figura 55 muestra una base de datos de recomendación de ventiladores según las condiciones requeridas y resultados obtenidos.

Figura 55*Recomendación de ventiladores**Fuente.* Elaboración propia

Entre los ventiladores obtenidos se cuenta con los propios de la base de datos del software VentSim y los importados de la base de datos de SIMSA, por lo que se simulará con las opciones propias de la base de datos de SIMSA.

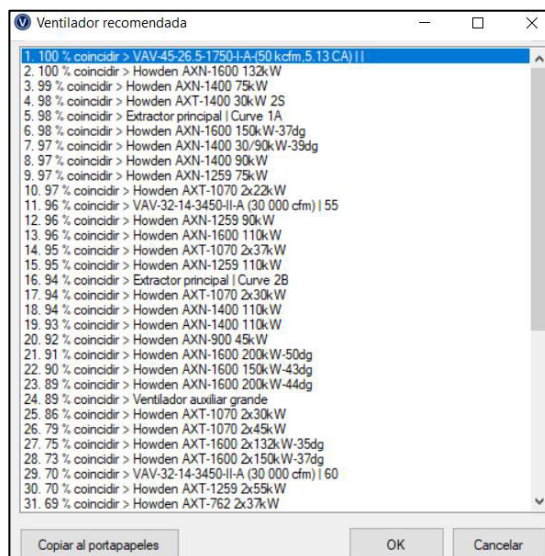
5.7.2. Determinación de ventilador

Escenario A :VAV-45-26.5-1750-I-A (50 KCFM)

Como primera opción se simulará el comportamiento de un ventilador de 50 KCFM tipo VAV-45-26.5-1750-I-A para ventilar 500m con doble conducto de ventilación de 0.762m de diámetro.

Figura 56

Ventilador tipo VAV-45-26.5-1750-I-A (50 KCFM)

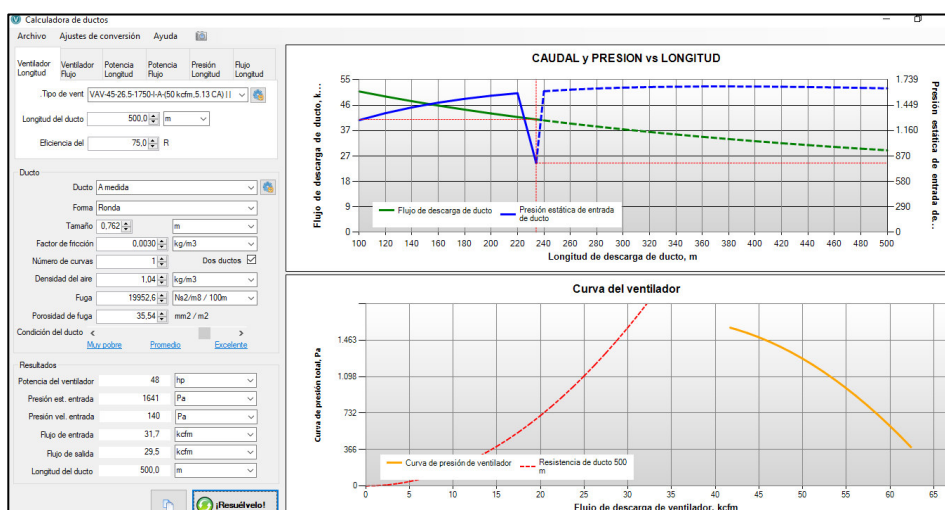


Fuente. Elaboración propia

La Figura 57 muestra los resultados obtenidos de los valores ingresados previamente.

Figura 57

Resultados de Escenario A- VAV-45-26.5-1750-I-A (50 KCFM)



Fuente. Elaboración propia

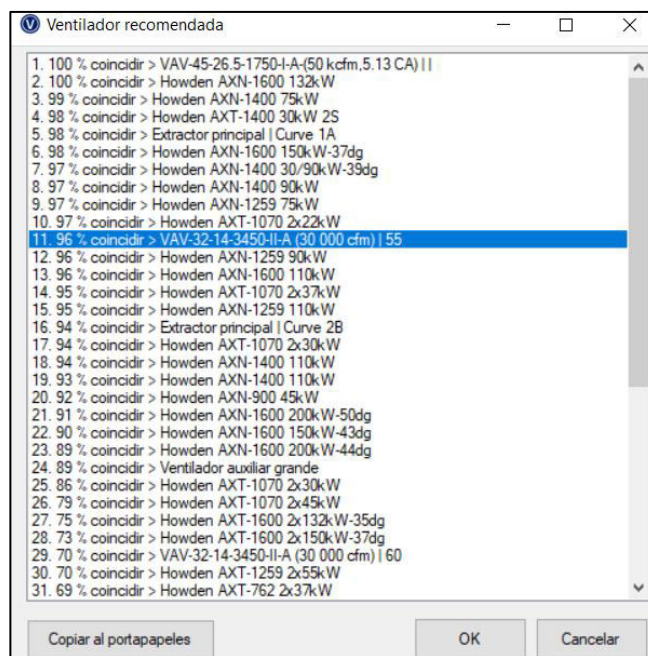
En la gráfica de caudal y presión se puede observar que el ventilador se estanca a una longitud de 234m, esto debido a que el ventilador es demasiado grande para el caudal a circular.

Escenario B: VAV-32-14-3450-II-A, 55° (30 KCFM)

Se procede a simular el comportamiento de un ventilador de 30 KCFM tipo VAV-32-14-3450-II-A ajustado a un ángulo de álabe de 55° para ventilar 500m con doble conducto de ventilación de 0.762m de diámetro.

Figura 58

Ventilador tipo VAV-32-14-3450-II-A, 55° (30 KCFM)

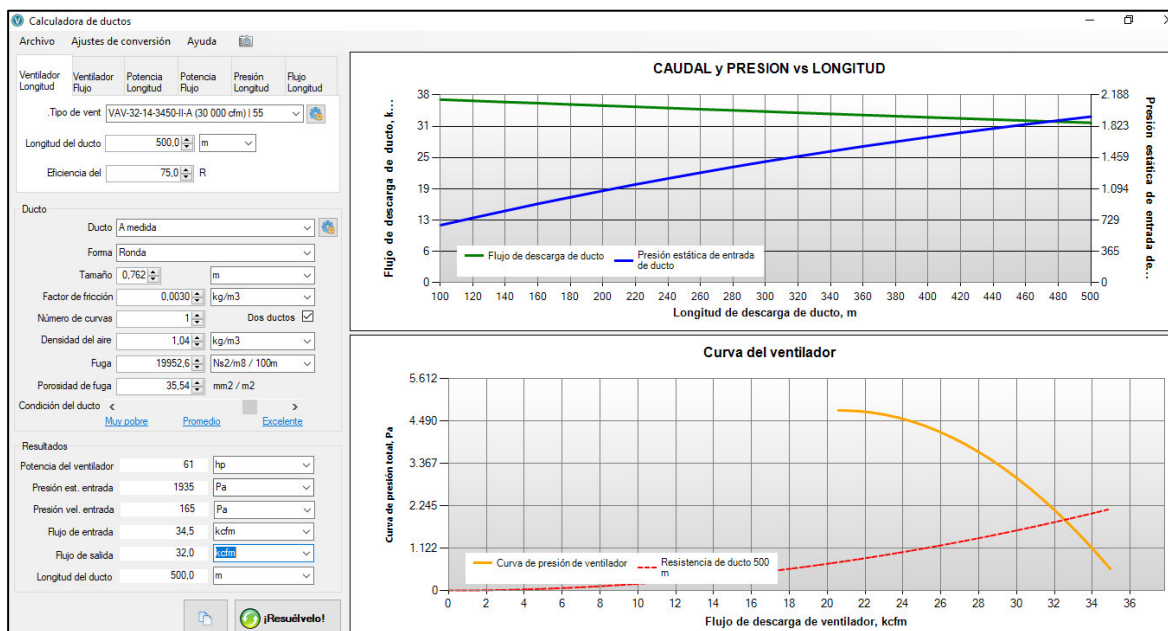


Fuente. Elaboración propia

La Figura 59 muestra los resultados obtenidos según los parámetros ingresados previamente.

Figura 59

Calculadora de ductos- VAV-32-14-3450-II-A, 55°



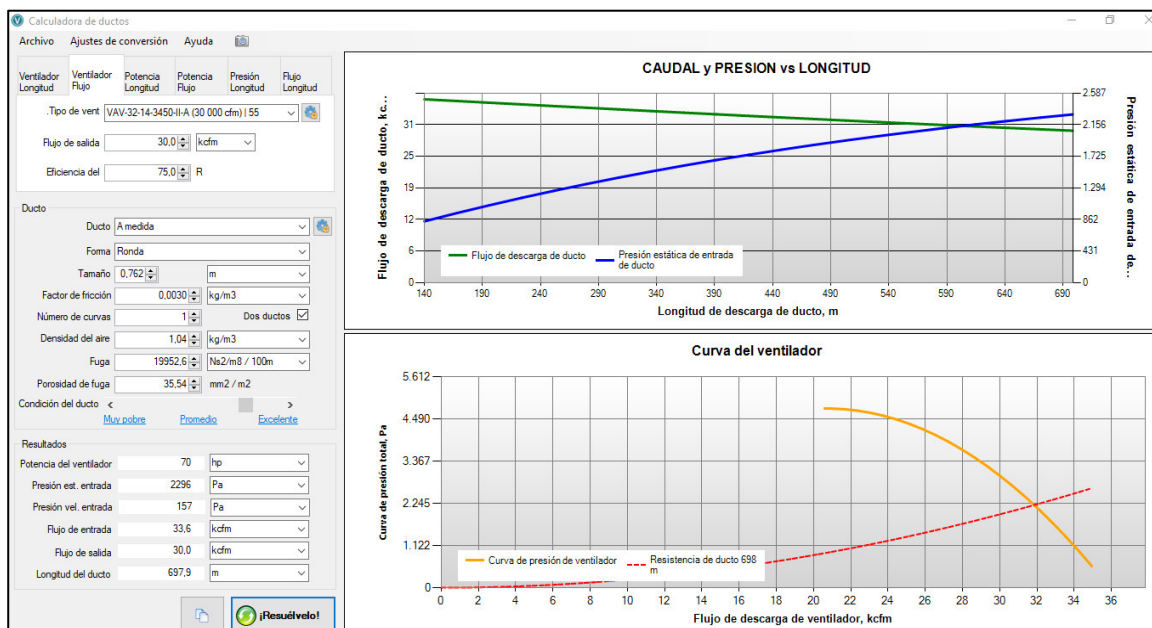
Fuente. Elaboración propia

En la gráfica de caudal y presión se observa que el ventilador puede ejercer una potencia de 63 HP con una presión estática de entrada de 1935 Pa para lograr una descarga de 30 000 CFM a 500m de su instalación.

La Figura 60 muestra la determinación del alcance máximo para un ventilador tipo VAV-24.5-14-3450-II-A, 55° con doble conducto de ventilación de 0.762m de diámetro para lograr un caudal de descarga de 30 KCFM.

Figura 60

Alcance máximo - Ventilador VAV-24.5-14-3450-II-A, 55°

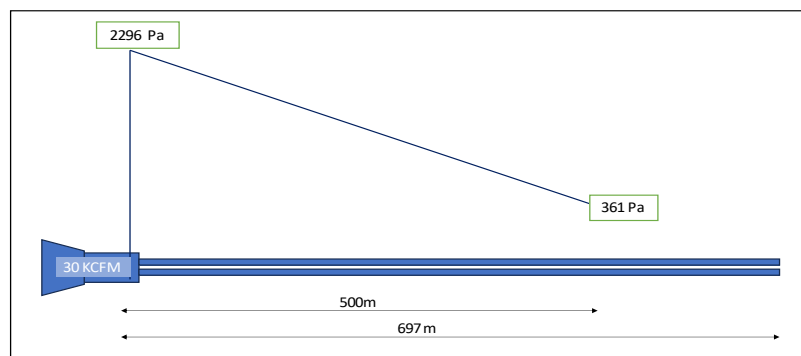


Fuente. Elaboración propia

Según los resultados obtenidos, al instalar este ventilador y aplicar esta configuración de conducto, se puede ventilar eficientemente 697m. Significa que, esta instalación ventilaría los 500m requeridos sin contingencias en la presión, logrando una presión de descarga de 361 Pa. (Figura 61).

Figura 61

Ventilador VAV-24.5-14-3450-II-A, 55° instalado 500m



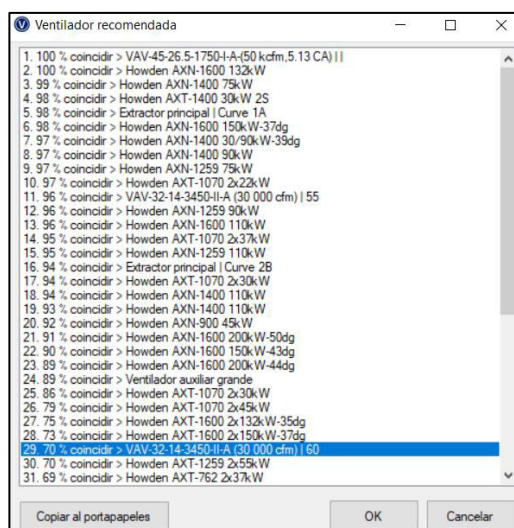
Fuente. Elaboración propia

Escenario C: VAV-32-14-3450-II-A, 60° (30 KCFM)

Para este modelo se va a simular el comportamiento de un ventilador de 30 KCFM tipo VAV-32-14-3450-II-A, ajustado a un ángulo de alabe de 60° para ventilar 500m con doble conducto de ventilación de 0.762m de diámetro.

Figura 62

Ventilador tipo VAV-32-14-3450-II-A, 60° (30 KCFM)

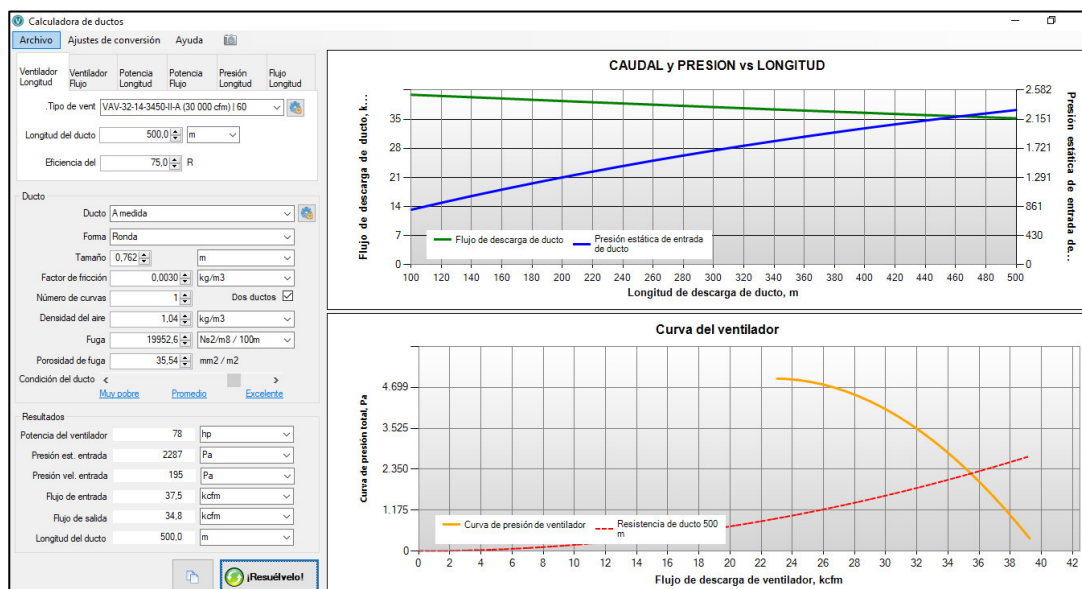


Fuente. Elaboración propia

La Figura 63 muestra los resultados obtenidos de los valores ingresados previamente,

Figura 63

Calculadora de ductos- VAV-32-14-3450-II-A, 60°



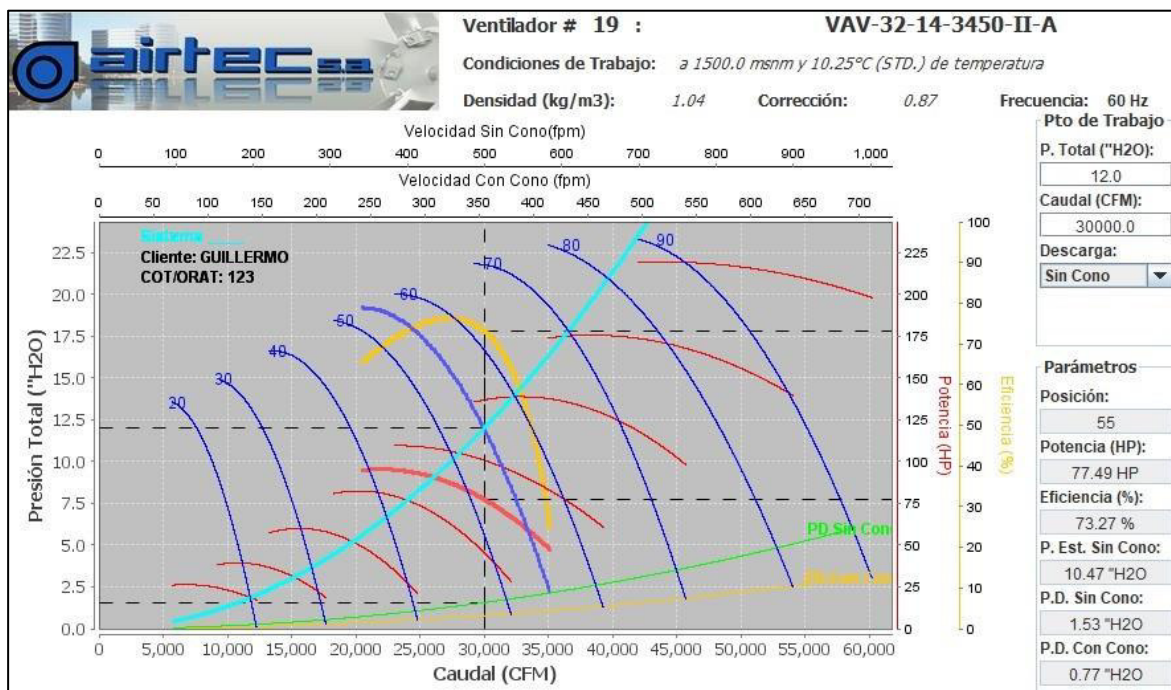
Fuente. Elaboración propia

En base a lo calculado en el software, se obtiene que dicho ventilador ejerce una presión de 78 HP con una presión estática de 2287 Pa y logra un caudal de descarga de 34.8 KCFM a 500m de su instalación. No obstante, esta opción quedaría descartado ya que la potencia ejercida por el ventilador excedería a su potencia estándar de 75 hp.

De forma que el sistema impelente de ingreso de aire limpio será con un ventilador de 30 KCFM tipo VAV-32-14-3450-II-A- ajustado a un ángulo de alabe de 55°, con dos conductos de ventilación conectados en paralelo de 0.762 (30") de diámetro cada uno.

Figura 64

Ventilador VAV-32-14-3450-II-A- 55°

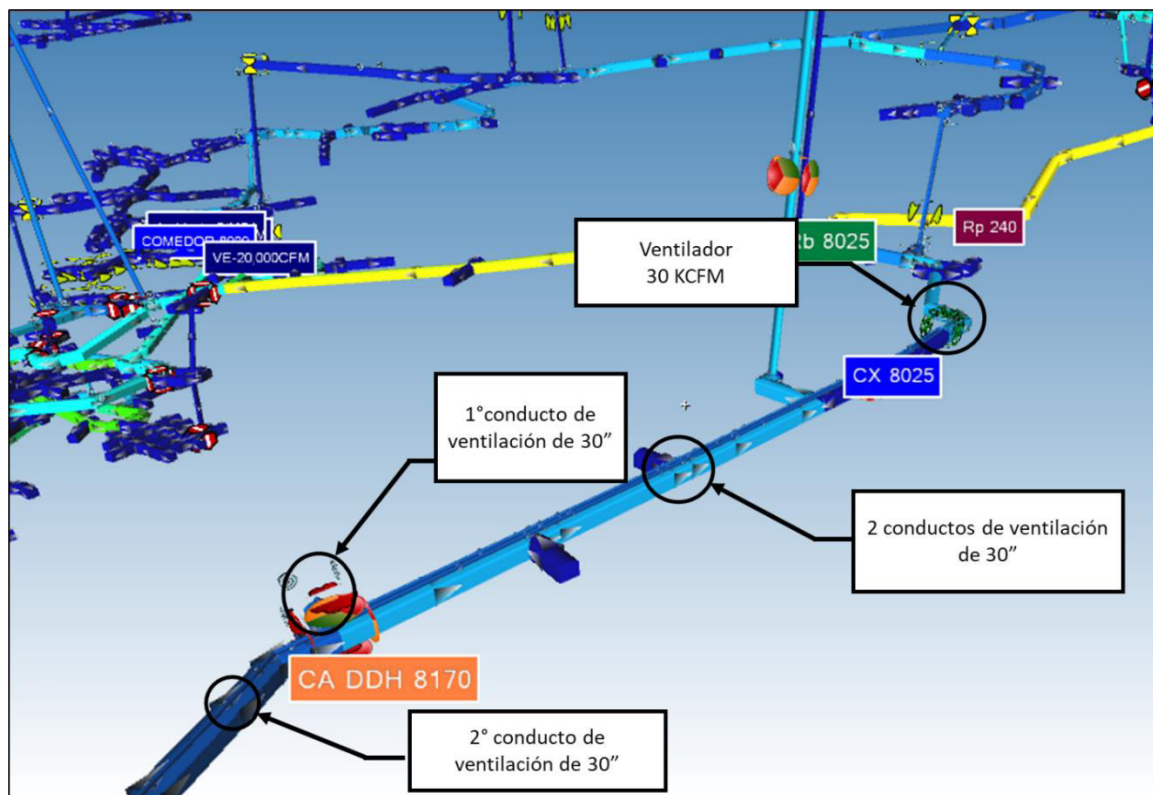


Fuente. Elaboración propia

En consecuencia, el CX 8025 tiene 2 labores de operación: el frente de avance y la cámara de diamantina CA DDH 8170. Se direccionará un conducto de ventilación para la CA DDH 8170 y un segundo conducto para el frente de avance (tope) del CX 8025. (Figura 64).

Figura 65

Sistema auxiliar de ingreso de aire limpio



Fuente. Elaboración propia

5.8. Simulación de diseño de sistema de ventilación

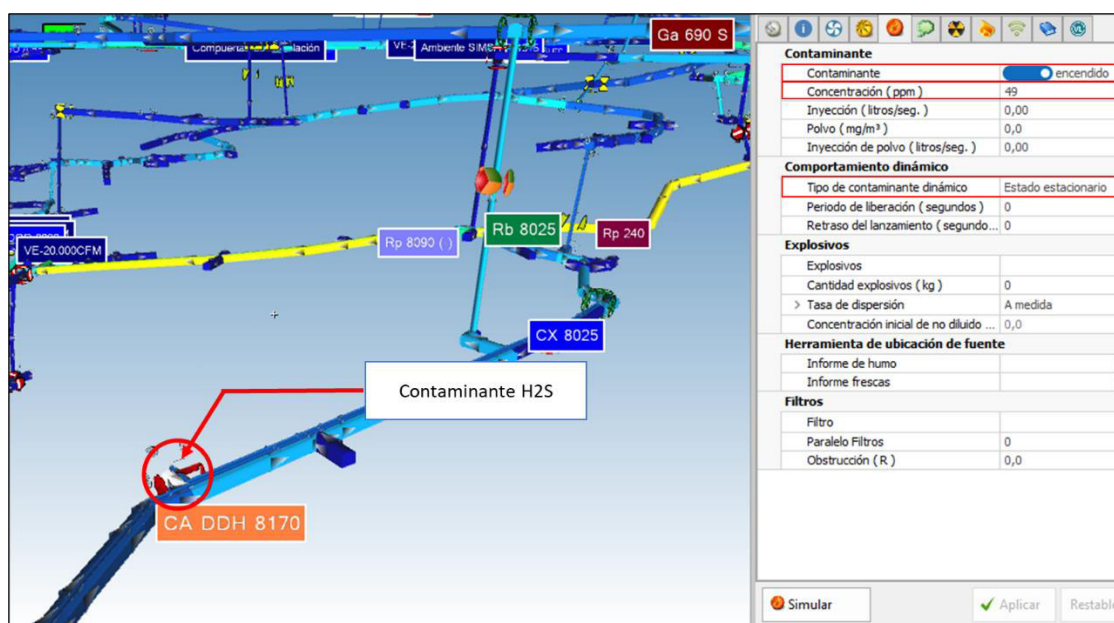
Una vez configurado el ventilador extractor en la cabeza del Rb 8025 y el ventilador impelente en el CX 8025, se procede a la configuración del contaminante en el software VentSim para determinar la efectividad de la evacuación del ácido sulfhídrico.

5.8.1. Simulación de contaminante

. La zona donde se desarrolla el CX 8025 presenta la misma condición geológica de estrangulamiento dolomítico, por lo cual se configura la cámara diamantina en operación CA DDH 8170 con el mismo valor de 49 ppm en estado estacionario.

Figura 66

Configuración de contaminante CA DDH 8170

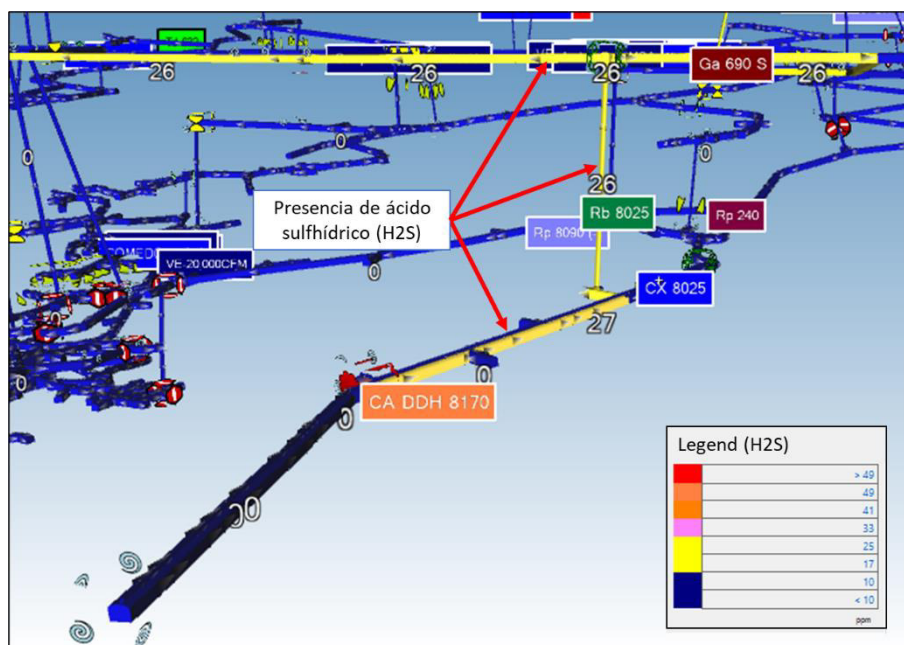


Fuente. Elaboración propia

Al simular el comportamiento del contaminante en el software VentSim, se visualizó el desplazamiento del gas ácido sulfhídrico a través del CX 8025 hacia el circuito principal de extracción por medio el Rb 8025, Durante su evacuación no se visualiza recirculación de aire en el frente de avance, ni en la Rp 240. De esta manera se demuestra la efectividad del diseño de sistema de ventilación.

Figura 67

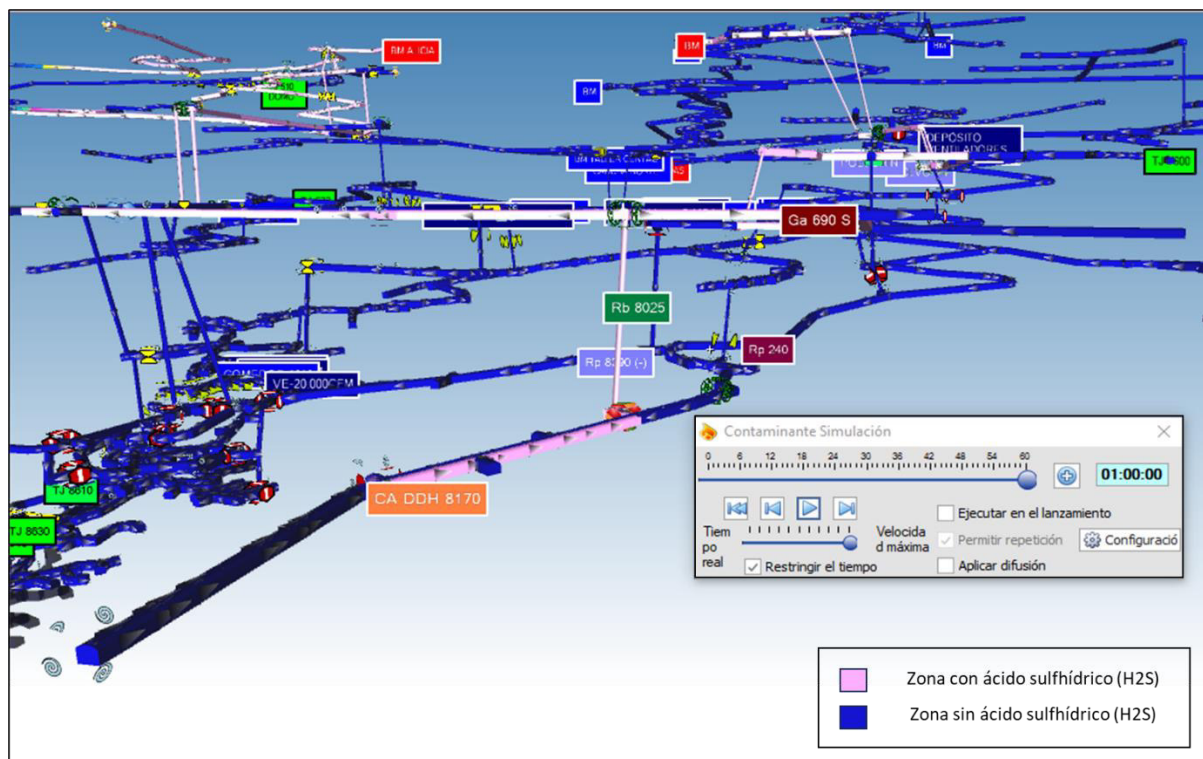
Simulación de contaminante CA DDH 8170



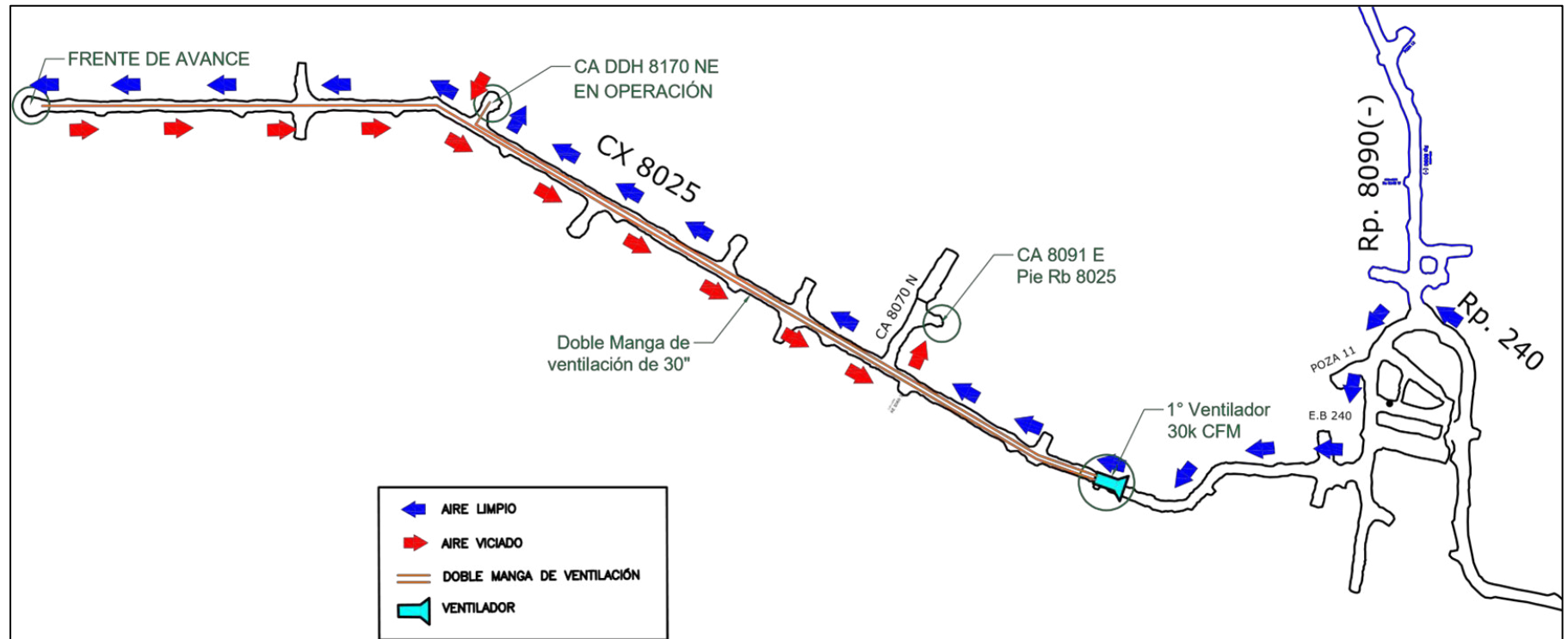
Fuente. Elaboración propia

5.8.2. Simulación dinámica

Con el uso de la herramienta denominada "Simulación dinámica" se va a simular el comportamiento del contaminante de ácido sulfhídrico (H₂S) desde la fuente en la cámara diamantina CA DDH 8170 y su alteración en las condiciones de aire de la mina en tiempos más específicos. Figura 68.

Figura 68*Simulación dinámica CX 8025**Fuente. Elaboración propia*

Al finalizar la simulación dinámica en el software VentSim se observa que desde la CA DDH 8170 (fuente de contaminante) el gas ácido sulfhídrico sale por el CX 8025 hacia la cámara 8070 N para evacuar el aire viciado al circuito principal de extracción por el Rb 8025. Además, que el aire viciado no regresa hacia el ventilador, por lo que no genera recirculación en el frente de avance. De esta manera se demuestra y determina la efectividad del diseño óptimo de sistema de ventilación en el CX 8025, por lo que, una vez ejecutado se procede a la toma de datos en campo.

Figura 69*Diseño óptimo de sistema de ventilación, CX 8025**Fuente. Elaboración propia*

5.8.3. Medición de velocidad de aire

Al finalizar el diseño y ejecución del sistema de ventilación auxiliar en el CX 8025, se realizaron mediciones de velocidad y caudal de aire en el frente de avance y la CA DDH 8170, durante el mes de junio y julio.

Frente de avance

La Tabla 31 muestra el resumen estadístico de las 50 mediciones realizadas en el frente de avance después de la ejecución del diseño de sistema de ventilación en el CX 8025

Tabla 31

Estadística de velocidad de aire junio- julio, frente de avance CX 8025

ANÁLISIS DE VELOCIDAD DE AIRE (m/min) CX 8025	
Media	23.6
Mediana	23.5
Moda	23.1
Mínimo	22.3
Máximo	26.7
Cuenta	50

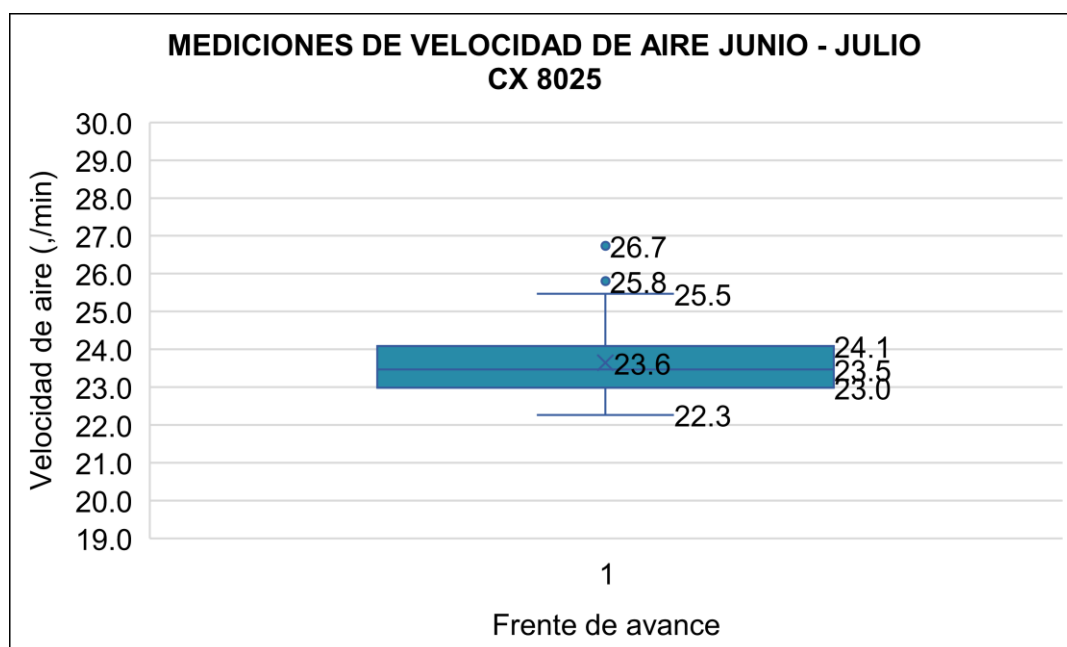
Fuente. Elaboración propia, a partir de los datos tomados de la minera SIMSA

Se obtiene un promedio de 23.6 m/min. El valor mínimo de velocidad registrado fue de 22.3 m/min y un valor máximo de 26.7 m/min por lo que en todas las mediciones se registró a la velocidad por encima lo 20m/min como lo indica la norma vigente.

El Gráfico 7 muestra los valores obtenidos en la medición de velocidad de aire después del diseño de sistema de ventilación auxiliar en el frente de avance del CX 8025.

Gráfico 7

Velocidad de aire junio-julio, frente de avance CX 8025



Fuente. Elaboración propia, a partir de los datos tomados de la minera SIMSA

Se visualiza que en el frente de avance la velocidad de aire se encuentra por encima del valor mínimo de 20 m/min establecido por la norma vigente.

La Tabla 32 muestra los resultados obtenidos al medir en campo la velocidad de aire, sección y caudal de aire en el frente de avance del CX 8025 durante los meses de junio y julio.

Tabla 32*Velocidad de aire junio – julio, frente de avance CX 8025*

Nivel	Labor	Etapa	Sección		Área (m ²)	Velocidad (m/min)	Caudal	
			Ancho (m)	Alto (m)			m ³ /min	CFM
1370	CX 8025	Avance	4.03	4.07	15.60	23.64	368.83	13024.99

Fuente. Elaboración propia, a partir de datos tomados por la minera SIMSA

Por tanto, se obtuvo registros de velocidad de aire el frente de avance desde los 22.3 m/min a 26.7 m/min, lo cual se encuentra debajo de lo establecido por la norma vigente. Con estos valores resultó como velocidad de aire promedio 23.6 m/min, obteniendo un caudal de 13024.99 CFM

CA DDH 8170

La Tabla 33 muestra el resumen estadístico de las 50 mediciones realizadas en la CA DDH 8170 después dl diseño de sistema de ventilación en el CX 8025.

Tabla 33*Velocidad de aire junio - julio, CA DDH 8170*

ANÁLISIS DE VELOCIDAD DE AIRE (m/min) CA DDH 8170	
Media	37.2
Mediana	37.2
Moda	38.7
Mínimo	32.1
Máximo	39.6
Cuenta	50

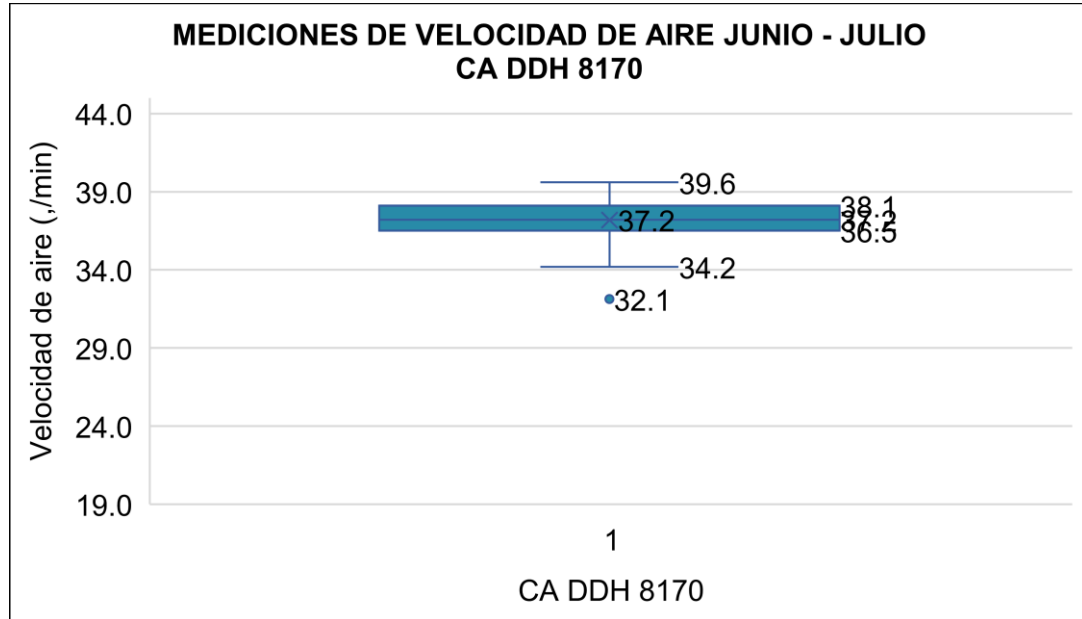
Fuente. Elaboración propia, a partir de los datos tomados de la minera SIMSA

Se obtiene un promedio de 37.2 m/min. El valor mínimo de velocidad registrado fue de 32.1 m/min y un valor máximo de 38.7 m/min por lo que en todas las mediciones se registró a la velocidad por encima lo 2 0m/min como lo indica la norma vigente.

El Grafico 8 muestra mediante un diagrama de caja los registros de velocidad de aire en la CA DDH 8170, durante los meses de junio y julio.

Gráfico 8

Medición de velocidad de aire junio - julio, CA DDH 8170



Fuente. Elaboración propia, a partir de los datos tomados de la minera SIMSA

Se muestra que en los resultados obtenidos la velocidad de aire se encuentra por encima del valor mínimo de 20 m/min establecido por la norma vigente. La Tabla 34 muestra los resultados obtenidos al medir en campo la velocidad de aire, sección y caudal de aire en la CA DDH 8170.

Tabla 34

Velocidad aire y caudal de junio – julio, CA DDH 8170

Nivel	Labor	Etapa	Sección		Área (m2)	Velocidad (m/min)	Caudal	
			Ancho (m)	Alto (m)			m3/min	CFM
1370	CX 8025	Avance	3.53	3.54	11.88	37.2	441.90	15,605.5

Fuente. Elaboración propia, a partir de datos tomados por la minera SIMSA

Por tanto, se obtuvo que la velocidad de aire la CA DDH 8170 iba desde los 32.1m/min a 39.6 m/min, lo cual se encuentra debajo de lo establecido por la norma vigente. Con estos valores resultó como velocidad de aire promedio 37.2 m/min, obteniendo un caudal de 15,605.5 CFM.

5.8.4. Medición de gases

De la misma manera una vez finalizado la ejecución del diseño óptimo de sistema de ventilación se realizó el monitoreo de gases en el frente de avance y la CA DDH 8170 con el equipo monitor de gas Altair 5X.

Frente de avance

La Tabla 35 muestra el promedio de los valores obtenidos en la medición de gases del frente de avance del CX 8025 durante los meses de junio y julio del 2023.

Tabla 35

Monitoreo de gases junio - julio, frente de avance de CX 8025

Nivel	Labor	Etapa	CO	CO2	O2	H2S	NO2
			p.p.m.	p.p.m.	%	p.p.m.	p.p.m.
1370	CX 8025	Avance	8	1300	20.4	0	0.1

Fuente. Elaboración propia, a partir de datos tomados por la minera SIMSA

Se observa que los niveles de los gases están por debajo de los límites máximos permisibles, y no se registra presencia de ácido sulfhídrico.

CA DDH 8170

La Tabla 36 muestra el promedio de los valores obtenidos en la medición de gases durante los meses de junio y julio de la CA DDH 8170.

Tabla 36*Monitoreo de gases junio- julio, CA DDH 8170*

Nivel	Labor	Etapa	CO p.p.m.	CO2 p.p.m.	O2 %	H2S p.p.m.	NO2 p.p.m.
1370	CA DDH 8170	Avance	7	1300	20.4	3	0

Fuente. Elaboración propia, a partir de datos tomados por la minera SIMSA

Se observa que los 5 gases medidos en campo registran valores por debajo de los límites máximos permisibles

La Tabla 37 muestra el resumen estadístico de las 50 mediciones de ácido sulfhídrico hechas en la CA DDH 8170.

Tabla 37*Estadística de niveles de ácido sulfhídrico junio - julio, CA DDH 8170*

ANÁLISIS DE ÁCIDO SULFHÍDRICO (ppm) CA DDH 8170	
Media	3
Mediana	3
Moda	3
Mínimo	1
Máximo	5
Cuenta	50

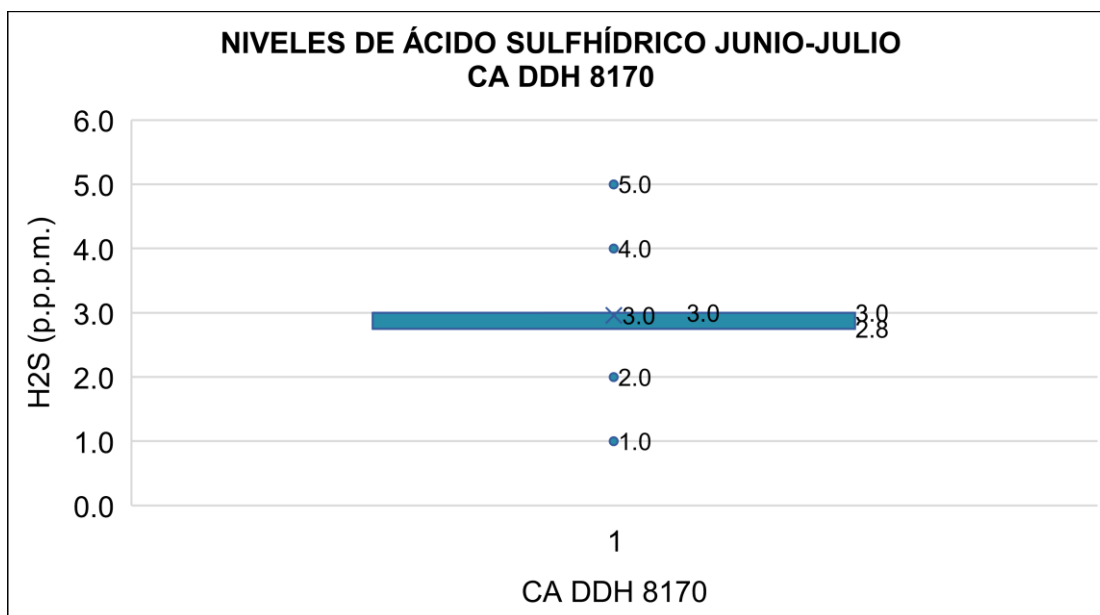
Fuente. Elaboración propia, a partir de los datos tomados de la minera SIMSA

El valor promedio de ácido sulfhídrico es de 3 ppm. El valor máximo registrado fue de 5 ppm el cual está en el límite máximo permisible.

El Grafico 9 muestra en un diagrama de cajas y bigotes los valores obtenidos de ácido sulfhídrico registrados en la CA DDH 8170.

Gráfico 9

Niveles de ácido sulfhídrico junio - julio, CA DDH 8170



Fuente. Elaboración propia, a partir de los datos tomados de la minera SIMSA

Se observa que, en el control realizado con el detector de gas, los niveles del ácido sulfhídrico están por debajo del límite establecido por la normativa vigente correspondiente a 10 ppm en una jornada laboral de 8 horas (TWA).

De manera que la media obtenida es de 3 ppm, lográndose una reducción en 16 ppm a comparación de la CA DDH 8112. Así mismo el valor máximo obtenido es de 5 ppm, por tanto, los niveles de ácido sulfhídrico se encuentran dentro de los parámetros permisibles.

5.8.5. Cobertura después del diseño de sistema de ventilación

En base a las mediciones realizadas después del diseño de sistema de ventilación en el CX 8025, se obtuvo un caudal total en el frente de avance y CA DDH 8170 de 28 630.49 CFM. Para un caudal requerido de 27,937.27 CFM, se obtiene una cobertura de 102.5%, con lo cual se cumple con lo requerido establecido por la norma vigente.

5.8.6. Análisis de costos de ventilación

En el sistema de ventilación previo al nuevo diseño solo se contaba con un sistema impelente de ventilación por medio de 2 ventiladores que captaban aire limpio de la Rp 240, mientras que el nuevo diseño cuenta con un sistema impelente y extractor para entilar las labores de avance y exploración propias del CX 8025, para lo cual se procede a determinar los costos de ventilación antes y después del diseño.

La Tabla 38 muestra los costos del sistema de ventilación antes del diseño.

Tabla 38

Costos de ventilación antes del diseño

COSTO DE VENTILACIÓN		ANTES DEL DISEÑO
SISTEMA IMPELENTE		
Ventilador VAV 32-14-3450-II-A -55°		
N° Ventiladores	2	und.
Potencia de ventilador	81.6	Hp
Costo de energía	0.07	\$/Kw-hr
Costo por hora	8.52	\$/hr
Costo total anual	74,625.36	US\$/año

Fuente. Elaboración propia

Mediante la configuración 2 ventiladores de 30 KCFM conectados en serie cuya potencia consumida era de 81.6 HP se obtiene un costo total anual de 74,625.36 US\$/año

La Tabla 39 muestra los costos de ventilación incurridos con el nuevo diseño.

Tabla 39

Costos de ventilación después del diseño

COSTO DE VENTILACIÓN		DESPÚES DEL DISEÑO
SISTEMA EXTRACTOR		
RB 8025		
Longitud	157	m
Diámetro	2.1	m
Factor K	0.0056	kg/m3
Carga fija	0.16	%
Costo excavación	282.94	\$/m3
Costo de energía	0.07	Kw/hr
Costo anual	37,281.37	US\$/año
Ventilador VAV 32-14-3450-II-A -55°		
N° Ventiladores	1	und.
Potencia de ventilador	28	Hp
Costo de energía	0.07	\$/Kw-hr
Costo por hora	1.46	\$/hr
Costo anual	12,803.37	US\$/año
Costo sistema de extracción	50,084.74	US\$/año
SISTEMA IMPELENTE		
Ventilador VAV 32-14-3450-II-A -55°		
N° Ventiladores	1	und.
Potencia de ventilador	61	Hp
Costo de energía	0.07	\$/Kw-hr
Costo por hora	3.18	\$/hr
Costo anual	27,893.06	US\$/año
Costo total anual	77,977.80	US\$/año

Fuente. Elaboración propia

El nuevo diseño óptimo de sistema de ventilación auxiliar considera el costo total anual del Rb 8025, un ventilador extractor de 30 KCFM y un ventilador impelente de 30 CFM. Siendo un costo total anual de 77,977.80 US\$.

Se observa que el nuevo diseño de sistema de ventilación tiene un costo más elevado en un 4% al costo previo al diseño. Sin embargo, se debe considerar que a medida que el CX 8025 siga avanzando hasta desarrollar los 1291m y a largo plazo, continuar con la ejecución de la Rp 240, mantener solo un sistema impelente, sería un problema cada vez mayor en la evacuación de gases ya que el retorno del aire viciado se vería afectado por la longitud total del crucero a una velocidad relativamente lenta ocasionando el acolchonamiento del gas, por lo que los niveles de ácido sulfhídrico aumentarían a niveles mayores de lo registrado en campo. El nuevo diseño permite que se pueda continuar con las operaciones de exploración y avance del crucero con la configuración de sistema impelente de inyección de aire limpio y mediante el Rb 8025 y el ventilador extractor favorecen en la evacuación de aire viciado hacia el circuito principal de extracción.

5.9. Análisis estadístico

Para determinar la efectividad del diseño de sistema de ventilación, se empleó la prueba de independencia de “Chi – cuadrado”, que permite establecer la influencia de este diseño en los resultados obtenidos en campo: Caudal de aire y niveles de ácido sulfhídrico.

5.9.1. Caudal de aire

Para hacer el análisis por el método de “Chi-cuadrado” se resume las frecuencias observadas de la cobertura de aire antes y después del diseño, como se muestra en la Tabla 40.

Tabla 40

Tabla de contingencia - Hipótesis 1

CAUDAL (KCFM)	ANTES DEL DISEÑO	DESPÚES DEL DISEÑO	TOTAL
0-28 KCFM	50	10	60
28 KCFM A MÁS	0	40	40
TOTAL	50	50	100

Fuente. Elaboración propia

A continuación, se procede a determinar los valores estimados (E_i), empleando la siguiente expresión:

$$E_i = \frac{n_i n_j}{n}$$

A continuación, se procede a determinar los valores estimados (E_i), empleando la siguiente expresión:

$$E_i = \frac{n_i n_j}{n}$$

- n_i : Total de la “n” fila.

- n_j : Total de la “n” columna.
- n : Gran total.

Tabla 41

Valores estimados, E_i – Caudal de aire

CAUDAL	ANTES DEL DISEÑO	DESPÚES DEL DISEÑO	TOTAL
0-28 KCFM	30	30	60
28 KCFM A MÁS	20	20	40
TOTAL	50	50	100

Fuente. Elaboración propia

Se procede a determinar el valor de “Chi - cuadrado” para la muestra de estudio, usando los datos de la Tabla 44 y la Tabla 45, mediante la siguiente expresión:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

- χ^2 : Estadístico Chi - cuadrado
- O_i : Valores observados
- E_i : Valores estimados

Tabla 42

Determinación de Chi cuadrado – Caudal de aire

CAUDAL (CFM)	ANTES DEL DISEÑO	DESPÚES DEL DISEÑO	TOTAL
0-28 KCFM	13.3	13.3	
28 KCFM A MÁS	20.0	20.0	
TOTAL			66.7

Fuente. Elaboración propia

La Tabla 42 muestra que el valor de “Chi cuadrado” en la muestra de estudio es de 66.7.

Para un grado de libertad $v = 2$ y un nivel de riesgo (α) de 5%, se obtiene de la tabla de distribución de valores críticos de Chi - cuadrado un valor crítico de 5.99. Para validar la hipótesis de investigación H_i , se compara el valor tabular asignado a la hipótesis nula H_0 con el hallado para H_i , de modo que:

$$H_0 = 5.99 \text{ es menor que } H_i = 66.7$$

Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula H_0 que indica independencia de variables, y se acepta la hipótesis de investigación H_i . Se determina que la cobertura de aire en el CX 8025 es afectado por el nuevo diseño de sistema de ventilación

5.9.2. Niveles de ácido sulfhídrico

En la Tabla 43 se muestra la distribución de datos de la muestra en una tabla de contingencia que corresponde a los datos originales en la prueba estadística. En cada columna se clasificó las mediciones de niveles de ácido sulfhídrico en campo antes y después del diseño.

Tabla 43

Tabla de contingencia H₂S

NIVELES DE ÁCIDO SULFHÍDRICO (H ₂ S)	ANTES DEL DISEÑO	DESPÚES DEL DISEÑO	TOTAL
0-10ppm	1	50	51
10-15ppm	8	0	8
15ppm a más	41	0	41
TOTAL	50	50	100

Fuente. Elaboración propia

De la misma forma que en la hipótesis 1, se realiza el mismo procedimiento para la hipótesis 2.

Tabla 44

Valores estimados, $E_i - H_{i2S}$

NIVELES DE ÁCIDO SULFHÍDRICO (H ₂ S)	ANTES DEL DISEÑO	DESPÚES DEL DISEÑO	TOTAL
0-10ppm	25.5	25.5	51
10-15ppm	4	4	8
15ppm a más	20.5	20.5	41
TOTAL	50	50	100

Fuente. Elaboración propia

Con la Tabla 43 y la Tabla 44 se procede a determinar el valor de “Chi-cuadrado” para la hipótesis 2, como se muestra en la Tabla 45.

Tabla 45

Determinación de Chi cuadrado – H₂S

NIVELES DE ÁCIDO SULFHÍDRICO (H ₂ S)	ANTES DEL DISEÑO	DESPÚES DEL DISEÑO	TOTAL
0-10ppm	23.54	23.54	
10-15ppm	4.00	4.00	
15ppm a más	20.50	20.50	
TOTAL			96.08

Fuente. Elaboración propia

Se muestra el valor de “Chi cuadrado” en la muestra de estudio de 96.08

Para un grado de libertad $v = 2$ y un nivel de riesgo (α) de 5%, se obtiene de la tabla de distribución de valores críticos de “Chi – cuadrado” un valor crítico de 5.99. Para validar la

hipótesis de investigación H_i , se compara el valor tabular asignado a la hipótesis nula H_0 con el hallado para H_i , de modo que:

$$H_0 = 5.99 \text{ es menor que } H_i = 96.08$$

Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula H_0 que indica independencia de variables, y se acepta la hipótesis de investigación H_i . Se determina que los niveles de ácido sulfhídrico son afectados por el nuevo diseño de sistema de ventilación.

6. DISCUSIÓN

A partir de los hallazgos encontrados en esta investigación se muestra que se logró diseñar un óptimo sistema de ventilación empleando el software VentSim que permitió la reducción de niveles de ácido sulfhídrico, obteniéndose una cobertura de 102.5% para cubrir una demanda de 27,937.27 CFM en el CX 8025; además de lograr reducir los niveles de ácido sulfhídrico a 3ppm. Estos resultados guardan relación con lo que sostiene Patiño (2022) quien en su investigación determinó el actual sistema de ventilación y empleó el software VentSim considerando factores como velocidad, potencia, presión, factor de fricción, para realizar diversas simulaciones en las que determinó 4 escenarios para optimizar el aire en las labores subterráneas.

La hipótesis específica 1 establece que la velocidad de aire influye en la reducción de niveles de ácido sulfhídrico, se obtuvo que al aumentar la velocidad en 23.9m/min se logró aumentar el caudal a 15.6KCFM en la CA DDH 8170 y los niveles de gas ácido sulfhídrico se redujeron a 3ppm. Según Vejarano (2000) afirma que aumentar la velocidad de aire, la energía que dispone el aire deberá ser mayor que la energía requerida para vencer la resistencia de la labor. Estos resultados son corroborados por Díaz (2019) quien en su investigación encontró que se debe instalar ventiladores de 30 KCFM para aumentar el flujo de aire en labores críticas cuyos gases se encontraban por encima de los LMP.

La hipótesis específica 2 establece que la labor de extracción de aire viciado influye positivamente en la reducción de niveles de ácido sulfhídrico, se determinó que después de desarrollar el Rb 8025 y el ventilador extractor como labor de extracción de aire viciado se logró reducir los niveles de sulfhídrico en 16ppm hasta un valor promedio de 3ppm, ya que dicho sistema de extracción favorecen en la evacuación de gases liberados por las cámaras diamantinas y el aire viciado proveniente del CX 8025. Según McPherson (2009) afirma que la

desventaja de mantener un solo sistema de inyección en una labor ciega los contaminantes al combinarse con el aire y por la longitud de la labor tiende a retornar a una velocidad relativamente lenta. Estos resultados guardan relación con López (2014) pues en su investigación llegó a la conclusión que para asegurar condiciones de trabajo en nuevas labores se recomienda desarrollar chimeneas de evacuación de aire viciado.

La hipótesis específica 3, establece que el diseño óptimo de sistema de ventilación empleando el software VentSim permite la reducción de costos de ventilación, sobre la cual monetariamente se muestra que el nuevo diseño de ventilación es más costoso, no obstante, este sistema permite el continuo desarrollo del proyecto y trabajos de exploración. Según McPherson (2009) se deben manejar 2 tipos de costos: capital y operación en la adquisición de un ventilador o construcción de un pozo o galería de ventilación que se debe tratar de minimizar en el costo total. Por otro lado, este trabajo coincide con la investigación de Camargo & Segura (2023), pues dado que el proyecto de construcción de CM RB 650 obtuvo un costo más elevado frente al convencional, este obtuvo un rendimiento superior en un 57% y representó un sistema efectivo a largo plazo.

7. CONCLUSIONES

Se logró diseñar un óptimo sistema de ventilación empleando el software VentSim que permitió la reducción de niveles ácido sulfhídrico (H_2S) en el crucero 8025 de la mina San Vicente - CIA SIMSA en el año 2023. En este sentido, la investigación realizada determinó que de acuerdo con las mediciones en campo y considerando parámetros de relación de flujo incomprensible, técnicos y financieros empleando el software VentSim permite una adecuada simulación y eficiente diseño de sistema de ventilación.

Se determinó que la velocidad de aire influye en la reducción de niveles de ácido sulfhídrico con un aumento de 23 m/min, el caudal de descarga aumentó en 10,000 CFM, lo que logró reducir los niveles de ácido sulfhídrico a 3 ppm en la cámara diamantina, ya que el tipo de ventilador y conducto de ventilación instalado permite la reducción de resistencias y la óptima evacuación del gas.

Se determinó que la labor de extracción de aire viciado influye en la reducción de niveles de ácido sulfhídrico en el crucero 8025, ya que permite la evacuación de gases hacia el circuito principal de extracción, evitando así la recirculación de aire en el crucero y la contaminación en las zonas de ingreso de aire limpio.

Se determinó que el nuevo diseño de sistema de ventilación tiene un costo más elevado al anterior. Sin embargo, continuar desarrollando los 1,291m del CX 8025 y a largo plazo, continuar con la ejecución de la Rp 240, mantener solo un sistema impelente sería un problema cada vez mayor en la evacuación de gases, por lo que el nuevo diseño permite que se pueda continuar con las operaciones de exploración y avance del crucero con la nueva configuración de sistema impelente de inyección de aire limpio y sistema de extracción de aire viciado mediante el Rb 8025 y el ventilador extractor.

8. RECOMENDACIONES

Continuar con el uso del software de VentSim empleando parámetros de relación de flujo incomprensible, técnicos y financieros para el diseño de sistemas de ventilación en labores de avance, producción y desarrollo; así mismo utilizar herramientas como calculadora de ductos y simulación dinámica para un mejor análisis de eventos y una mejor comprensión de resultados obtenidos en campo.

Mantener un control constante de la velocidad de aire, caudal y presencia de gases, ya que el proyecto continúa desarrollándose y requerirá de ajustes en el sistema de ventilación para mantener las condiciones de aire dentro de los parámetros establecidos por la normativa vigente.

Actualizar constantemente los planos de ventilación e identificar las labores correspondientes al circuito principal de ingreso de aire limpio y circuito principal de extracción de aire viciado para evitar deficiencias en el sistema de ventilación.

Evaluar previamente variables de caudal, presión, altitud y densidad para evitar altos costos en la adquisición y operación de ventiladores, esto permitirá una adecuada ubicación y configuración ya sea en serie o en paralelo.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Baldeon Huaynates, E. G. (2023) *Informe geológico de no presencia de cámaras de gas mina San Vicente.*

Camargo & Segura (2023). *Desarrollo de una chimenea de ventilación en una mina ubicada al centro del Perú aplicando el sistema Raise Boring.* (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú

Claverias Quicana, J. S. (2014) *Evaluación y optimización del sistema de ventilación de la compañía minera Caraveli S.A.C aplicando el software VentSim Visual 3.* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.

Decreto Supremo N° 023-2017- E.M. Diario Oficial El Peruano, 18 de agosto del 2017.

Diaz Flores, R. (2019) *Optimización del sistema de Ventilación como un método de control de la calidad del aire en la mina San Rafael de la región Puno.* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.

Gonzales Miranda, O. R. (2021). *Evaluación y modelamiento del sistema de ventilación de la U.M. San Vicente- Bolivia con el software VentSim designe, año 2020.* (Tesis de pregrado) Universidad Nacional del Centro del Perú.

Hartman H. L. (1997) *Mine Ventilation and Air Conditioning.* 3era edición. Jhon Wiley & Sons, Inc.

Herrera Herbert, J. (2019). *Introducción a la ventilación de mina.*

Howden (s/f). *Ventsim DESIGN Manual de Usuario.*

JS Industrial (2020, 5 de agosto). *Detectores de gases para minería*. Rumbo minero.

<https://www.rumbominero.com/peru/noticias/actualidad-empresarial/detectores-de-gases-para-mineria-subterranea/>

López Fanjul C. (2014) *Estudio del sistema de ventilación a implementar en la ampliación de una mina metálica mediante el software VentSim* (Tesis de postgrado) Repositorio Institucional de la Universidad de Oviedo.

Maguiña Espíritu, J. A. (2018) *Aplicación del Software VentSim para el diseño y optimización proyectada del sistema de ventilación en la Minas Hercules de la Compañía Minera Lincuna S.A.- Año 2017*. (Tesis de pregrado) Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo.

Maleki, S. et al. (2018) *Application of VENTSIM 3D and mathematical programming to optimize underground mine ventilation network: A case study*. Journal of Mining and Environment, 9 (3). https://jme.shahroodut.ac.ir/article_1170.html

McElroy, G. E. (1935). *Engineering factors in the Ventilation of metal mines*. U.S. Department of the Interior.

McPherson, M. (2009). *Ingeniería de la ventilación subterránea*. 2da edición.

NOOVA SAC (2001). *Ductos y accesorios de ventilación*

Oportus Romero P. A. (2022) *Ventilación de Minas*.

Patiño Gallo, H. D. (2022) *Simulación del sistema de ventilación con el uso del software VentSim premium, a fin de optimizar el aire en las labores subterráneas. Mina Central-U.M. Yauricocha*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Piura. Piura.

- Portilla & Velarde. (2018) *Propuesta técnica de mejora del sistema de ventilación principal de una operación minera subterránea polimetálica-2015* (Tesis de pregrado) Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Ramon Toribio, S.(s/f) *Aire de mina y condiciones termo ambientales*.
- Soler & Palau (2009) *Manual Práctico de ventilación*.
- Tejeda & Mucha. (2022) *Evaluación de las condiciones de ventilación para la actualización del sistema integral de ventilación Unidad Minera Yauricocha*. (Tesis de pregrado) Universidad Continental.
- Toranzo Arcos, L. A. (2023). *Curso de ventilación en minería subterránea*
- Troncoso, R. (2005). *Ventilación*. Santiago, Chile: SERNAGEOMIN.
- Vejarano Sanchez, A. (2000) *Curso de ventilación de minas*.
- Vera Warthon, E. R. (2021). *Implementación y simulación del sistema de ventilación con el software Ventsim visual en la Mina San Valentín s.a.* (Tesis de pregrado). Universidad Micaela Bastidas de Apurímac
- Wallace & Prosser (2015) *International Journal of mining ventilation and technology*.

10.ANEXOS

ANEXO A

MATRIZ DE CONSISTENCIA

A-1) MATRIZ DE CONSISTENCIA

Anexo A-1

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	INDICADORES	METODOLOGÍA
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Variable independiente Diseño óptimo de sistema de ventilación empleando el software VentSim.	Labores subterráneas (cruceros, cámaras, chimeneas) Caudal (personas, equipos) Presión Potencia Costos Ventiladores VentSim	Diseño de investigación: -Cuantitativo Tipo de investigación: Cuasi experimental Nivel de investigación: -Descriptiva -Longitudinal Población: -U. M. San Vicente Muestra: -Crucero 8025 Técnicas de recolección de datos -Recopilación de información del circuito de ventilación y labores subterráneas de la mina San Vicente. -Medición y cálculo de parámetros de ventilación en campo. -Manejo de Software VentSim.
¿Cómo se puede diseñar un óptimo sistema de ventilación empleando el software VentSim para la reducción de niveles de ácido sulfhídrico (H ₂ S) en el Crucero 8025 de la mina San Vicente - CIA SIMSA en el año 2023?	Determinar el diseño óptimo del sistema de ventilación empleando el software VentSim para la reducción de niveles de ácido sulfhídrico (H ₂ S) en el Crucero 8025 de la mina San Vicente - CIA SIMSA en el año 2023.	El diseño óptimo de sistema de ventilación empleando el software VentSim permite la reducción de niveles de ácido sulfhídrico (H ₂ S) en el Crucero 8025 de la mina San Vicente - CIA SIMSA en el año 2023.			
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicos	Variable dependiente Reducción de niveles de ácido sulfhídrico (H ₂ S)	Identificación de zonas críticas	
¿Cómo influye la velocidad de aire en la reducción de niveles de ácido sulfhídrico (H ₂ S) en el Crucero 8025 de la mina San Vicente - CIA SIMSA en el año 2023?	Determinar si la velocidad de aire influye en la reducción de niveles de ácido sulfhídrico (H ₂ S) en el Crucero 8025 de la mina San Vicente - CIA SIMSA en el año 2023.	La velocidad de aire influye en la reducción de niveles de ácido sulfhídrico (H ₂ S) en el Crucero 8025 de la mina San Vicente - CIA SIMSA en el año 2023.			
¿Cómo influye la labor de extracción de aire viciado en la reducción de niveles de ácido sulfhídrico (H ₂ S) en el Crucero 8025 de la mina San Vicente - CIA SIMSA en el año 2023?	Determinar si la labor extracción de aire viciado influye en la reducción de niveles de ácido sulfhídrico (H ₂ S) en el Crucero 8025 de la mina San Vicente - CIA SIMSA en el año 2023.	La labor de extracción de aire viciado influye positivamente en la reducción de niveles de ácido sulfhídrico (H ₂ S) en el Crucero 8025 de la mina San Vicente - CIA SIMSA en el año 2023.		Velocidad de aire	
¿Cómo influye el diseño óptimo de sistema de ventilación empleando el software VentSim en la reducción de costos de ventilación a largo plazo en el Crucero 8025 de la mina San Vicente - CIA SIMSA en el año 2023?	Determinar si el diseño óptimo de sistema de ventilación empleando el software VentSim permite la reducción de costos de ventilación a largo plazo en el Crucero 8025 de la mina San Vicente - CIA SIMSA en el año 2023.	El diseño óptimo de sistema de ventilación empleando el software VentSim permite la reducción de costos de ventilación a largo plazo en el Crucero 8025 de la mina San Vicente - CIA SIMSA en el año 2023.		Temperatura de la labor	

ANEXO B

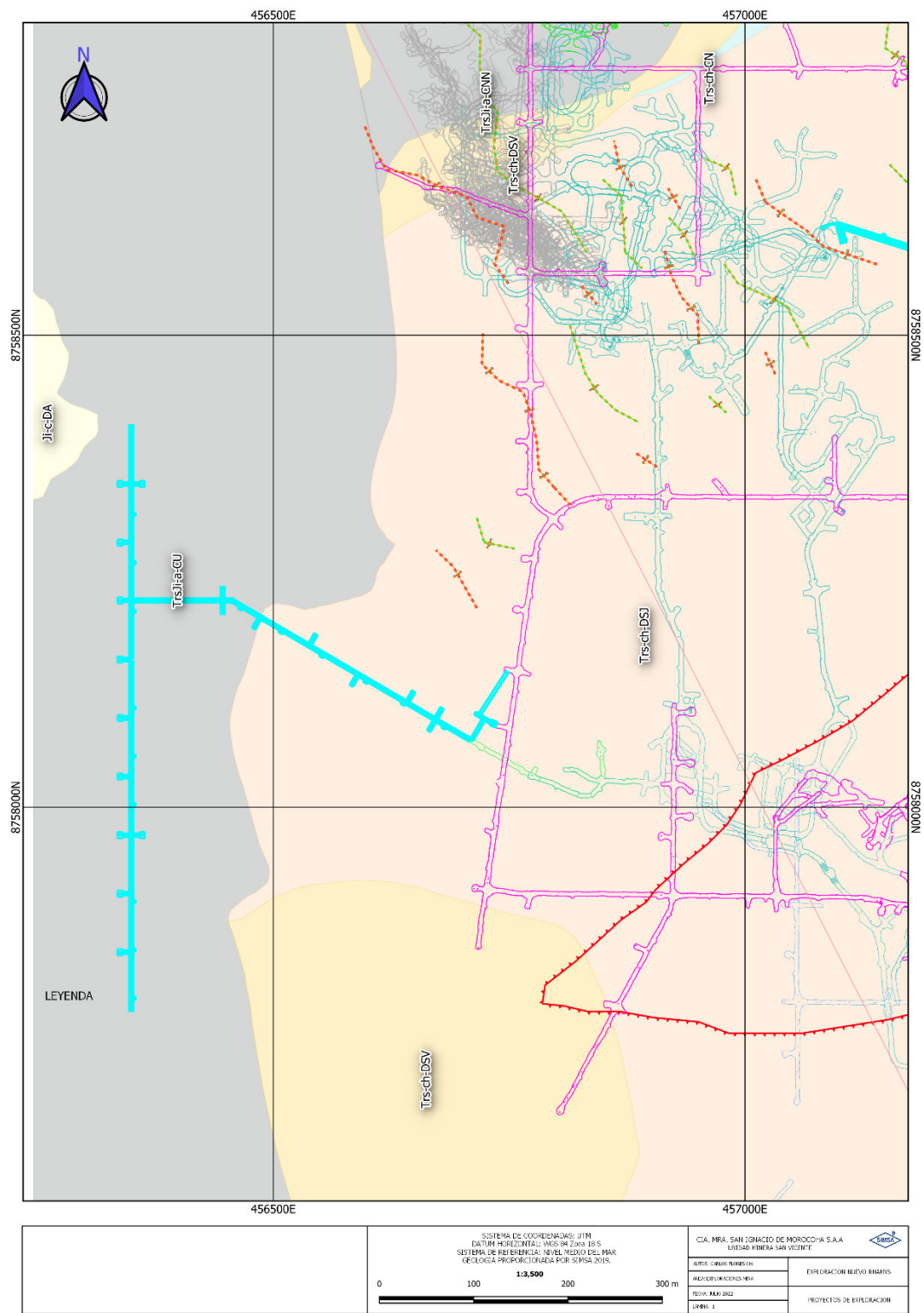
PLANOS

B-1) PLANO EN PLANTA PROYECTO CRUCERO 8025

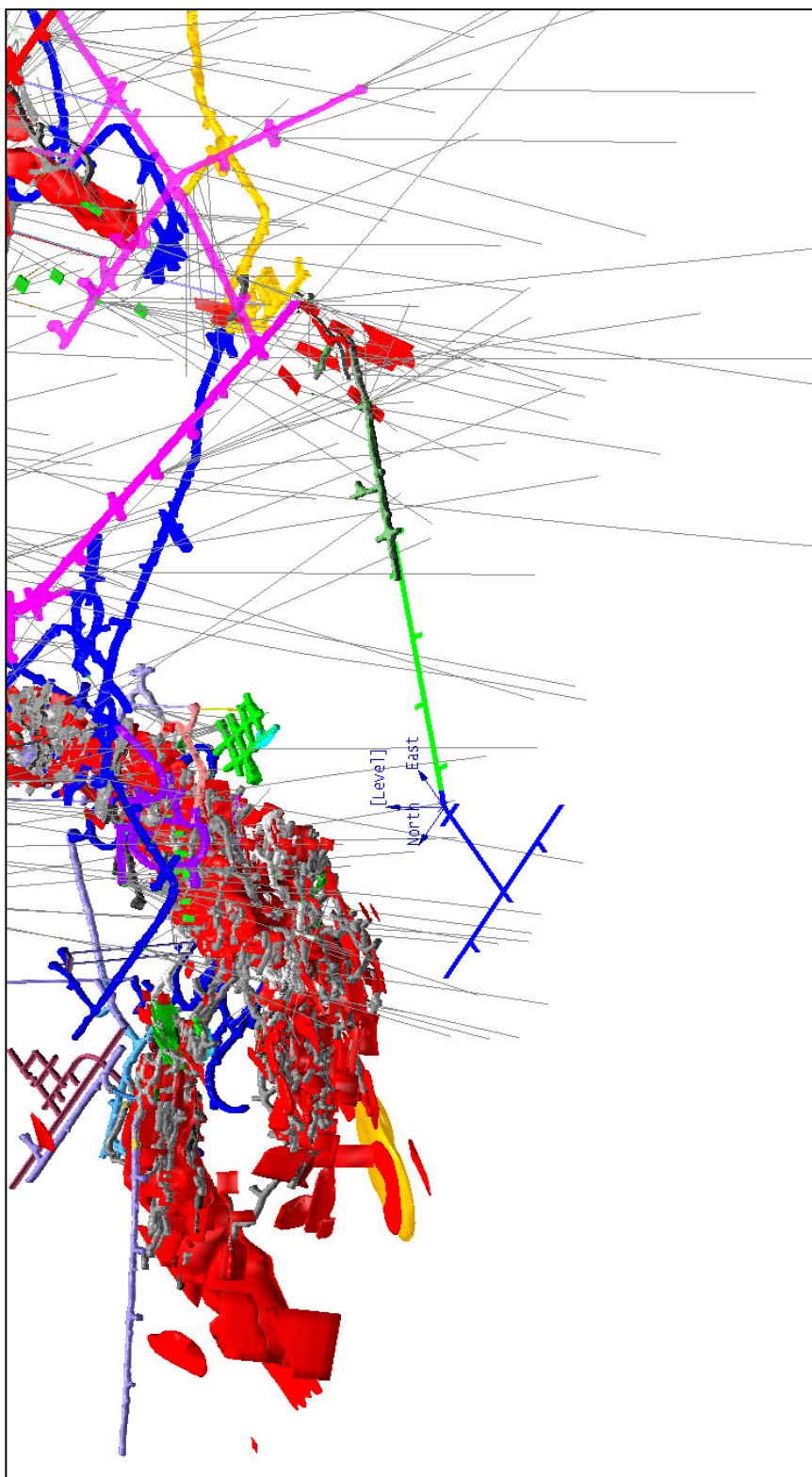
B-2) VISTA ISOMÉTRICA PROYECTO CRUCERO 8025

B-3) PLANO GEOLÓGICO DE LA MINA SAN VICENTE

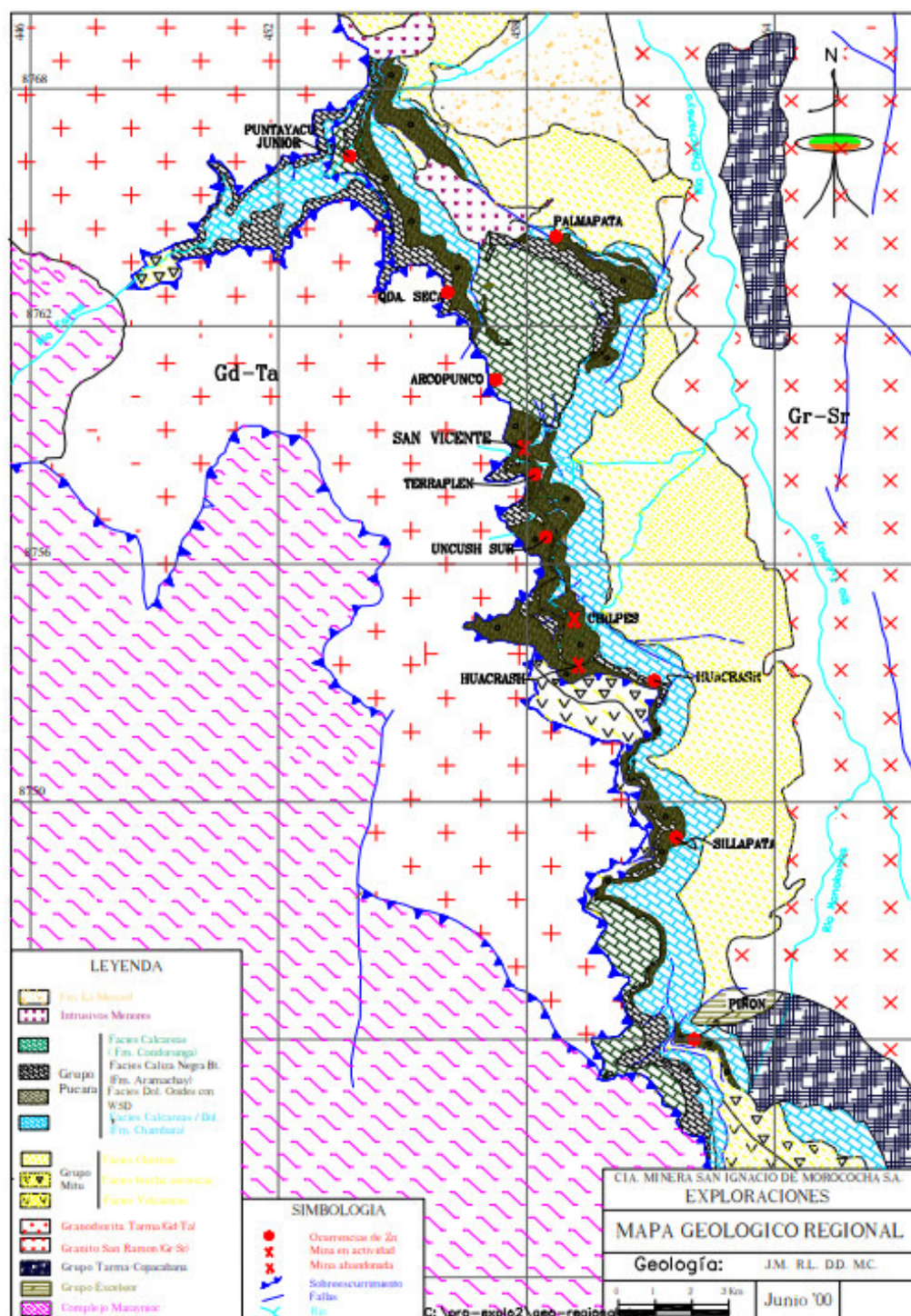
Anexo B-1



Anexo B-2



Anexo B-3



ANEXO C

REGISTROS

C-1) Medición de velocidades de aire marzo - mayo, frente de avance

C-2) Medición de velocidades de aire marzo - mayo, CA DDH 8112

C-3) Medición de velocidades de aire junio - julio, frente de avance

C-4) Medición de velocidades de aire junio - julio, CA DDH 8170

Anexo C-1

LABOR	ETAPA	VELOCIDAD (m/s)										SECCIÓN		ÁREA	VELOCIDAD	INGRESO DE AIRE	
		V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	PROM (m/s)	ANCHO (m)	ALTO (m)	(m2)	(m/min)	(m3/min)	(CFM)
CX 8025	AVANCE	0.11	0.14	0.21	0.16	0.24	0.21	0.13	0.24	0.13	0.17	4.15	3.99	15.73	10.5	164.6	5,814.4
CX 8025	AVANCE	0.21	0.17	0.23	0.24	0.27	0.22	0.18	0.25	0.18	0.22	4.1	4.02	15.66	13.0	203.6	7,188.3
CX 8025	AVANCE	0.15	0.12	0.19	0.23	0.28	0.17	0.16	0.18	0.12	0.18	3.95	3.97	14.90	10.7	158.9	5,611.7
CX 8025	AVANCE	0.25	0.18	0.17	0.29	0.29	0.28	0.24	0.26	0.19	0.24	4.13	4.05	15.89	14.3	227.8	8,043.2
CX 8025	AVANCE	0.19	0.15	0.27	0.25	0.26	0.24	0.22	0.19	0.15	0.21	4.02	4.04	15.43	12.8	197.5	6,974.2
CX 8025	AVANCE	0.14	0.16	0.20	0.23	0.22	0.19	0.23	0.18	0.18	0.19	4.11	4.12	16.09	11.5	185.5	6,551.9
CX 8025	AVANCE	0.22	0.23	0.19	0.2	0.28	0.21	0.19	0.24	0.18	0.22	4.13	4.19	16.44	12.9	212.6	7,508.4
CX 8025	AVANCE	0.18	0.18	0.21	0.26	0.28	0.22	0.22	0.17	0.18	0.21	4.10	4.04	15.74	12.7	199.3	7,038.9
CX 8025	AVANCE	0.25	0.18	0.26	0.23	0.29	0.21	0.18	0.17	0.18	0.22	3.95	4.05	15.20	13.0	197.6	6,977.0
CX 8025	AVANCE	0.18	0.15	0.21	0.21	0.27	0.23	0.18	0.15	0.24	0.20	4.02	3.98	15.20	12.1	184.4	6,512.8
CX 8025	AVANCE	0.27	0.16	0.21	0.23	0.28	0.19	0.24	0.19	0.19	0.22	4.04	3.98	15.28	13.1	199.6	7,048.6
CX 8025	AVANCE	0.18	0.23	0.24	0.17	0.23	0.21	0.16	0.24	0.23	0.21	3.97	4.11	15.50	12.6	195.3	6,897.3
CX 8025	AVANCE	0.15	0.21	0.21	0.27	0.24	0.2	0.15	0.17	0.23	0.20	4.02	4.05	15.47	12.2	188.7	6,663.7
CX 8025	AVANCE	0.19	0.31	0.21	0.28	0.23	0.28	0.17	0.19	0.18	0.23	4.1	4.04	15.74	13.6	214.0	7,557.5
CX 8025	AVANCE	0.20	0.27	0.13	0.19	0.29	0.24	0.17	0.24	0.28	0.22	4.03	4.08	15.62	13.4	209.3	7,391.7
CX 8025	AVANCE	0.18	0.23	0.15	0.25	0.29	0.29	0.19	0.15	0.18	0.21	4.02	4.06	15.51	12.7	197.4	6,972.2
CX 8025	AVANCE	0.20	0.18	0.23	0.19	0.13	0.25	0.30	0.21	0.15	0.20	4.11	4.21	16.44	12.3	201.6	7,120.8
CX 8025	AVANCE	0.22	0.27	0.17	0.25	0.31	0.26	0.19	0.25	0.24	0.24	4.03	4.05	15.51	14.4	223.3	7,884.9
CX 8025	AVANCE	0.20	0.25	0.19	0.22	0.28	0.19	0.29	0.21	0.16	0.22	4.01	4.1	15.62	13.3	207.2	7,317.5
CX 8025	AVANCE	0.10	0.15	0.15	0.20	0.23	0.24	0.20	0.22	0.10	0.18	4.06	4.06	15.66	10.6	166.0	5,861.8
CX 8025	AVANCE	0.18	0.17	0.13	0.23	0.26	0.12	0.25	0.21	0.18	0.19	3.97	3.94	14.86	11.5	171.4	6,052.3
CX 8025	AVANCE	0.21	0.18	0.24	0.19	0.17	0.24	0.22	0.18	0.19	0.20	4.10	3.98	15.50	12.1	188.1	6,642.4
CX8025	AVANCE	0.19	0.27	0.24	0.25	0.26	0.18	0.28	0.18	0.23	0.23	4.02	4.03	15.39	13.9	213.4	7,536.7
CX 8025	AVANCE	0.18	0.17	0.21	0.10	0.20	0.25	0.18	0.26	0.24	0.20	3.95	4.03	15.12	11.9	180.5	6,372.9

LABOR	ETAPA	VELOCIDAD (m/s)										SECCIÓN		ÁREA	VELOCIDAD	INGRESO DE AIRE	
		V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	PROM (m/s)	ANCHO (m)	ALTO (m)	(m2)	(m/min)	(m3/min)	(CFM)
CX 8025	AVANCE	0.19	0.26	0.21	0.22	0.29	0.18	0.15	0.21	0.18	0.21	4.00	4.05	15.39	12.6	193.9	6,848.0
CX 8025	AVANCE	0.14	0.24	0.25	0.22	0.27	0.13	0.21	0.15	0.14	0.19	4.01	3.94	15.01	11.7	175.1	6,183.9
CX 8025	AVANCE	0.12	0.15	0.13	0.20	0.25	0.18	0.17	0.21	0.16	0.17	3.85	3.91	14.30	10.5	149.7	5,285.9
CX 8025	AVANCE	0.23	0.24	0.24	0.28	0.24	0.15	0.27	0.23	0.19	0.23	3.96	4.02	15.12	13.8	208.7	7,370.1
CX 8025	AVANCE	0.15	0.21	0.21	0.24	0.23	0.18	0.13	0.18	0.11	0.18	4.06	4.05	15.62	10.9	170.8	6,031.3
CX 8025	AVANCE	0.19	0.31	0.21	0.22	0.18	0.25	0.21	0.11	0.19	0.21	4.10	4.04	15.74	12.5	196.2	6,927.7
CX 8025	AVANCE	0.14	0.17	0.20	0.10	0.28	0.23	0.25	0.17	0.14	0.19	3.98	4.12	15.58	11.2	174.5	6,161.3
CX 8025	AVANCE	0.18	0.14	0.22	0.25	0.29	0.26	0.13	0.16	0.27	0.21	4.11	3.99	15.58	12.7	197.3	6,968.7
CX 8025	AVANCE	0.23	0.21	0.25	0.13	0.22	0.14	0.11	0.18	0.22	0.19	4.10	4.04	15.74	11.3	177.3	6,260.9
CX 8025	AVANCE	0.23	0.22	0.15	0.28	0.24	0.16	0.24	0.21	0.25	0.22	4.06	4.20	16.20	13.2	213.8	7,551.4
CX 8025	AVANCE	0.18	0.29	0.18	0.19	0.19	0.28	0.19	0.22	0.26	0.22	4.03	4.10	15.70	13.2	207.2	7,317.1
CX 8025	AVANCE	0.17	0.21	0.14	0.26	0.29	0.18	0.27	0.18	0.12	0.20	4.12	3.95	15.46	12.1	187.6	6,624.5
CX 8025	AVANCE	0.21	0.22	0.18	0.29	0.23	0.15	0.24	0.28	0.18	0.22	4.15	3.90	15.38	13.2	203.0	7,167.4
CX 8025	AVANCE	0.18	0.25	0.18	0.21	0.22	0.18	0.25	0.23	0.19	0.21	4.20	3.95	15.76	12.6	198.6	7,012.8
CX 8025	AVANCE	0.15	0.18	0.11	0.17	0.21	0.21	0.23	0.19	0.23	0.19	4.08	4.08	15.81	11.2	177.1	6,254.8
CX 8025	AVANCE	0.14	0.22	0.27	0.24	0.19	0.28	0.21	0.25	0.17	0.22	4.10	4.08	15.89	13.1	208.7	7,370.5
CX 8025	AVANCE	0.18	0.25	0.27	0.26	0.24	0.26	0.19	0.22	0.18	0.23	3.98	4.09	15.46	13.7	211.3	7,463.5
CX 8025	AVANCE	0.21	0.16	0.28	0.22	0.29	0.19	0.18	0.24	0.19	0.22	4.06	4.02	15.51	13.1	202.6	7,154.7
CX 8025	AVANCE	0.16	0.28	0.15	0.23	0.30	0.15	0.14	0.10	0.12	0.18	3.93	3.99	14.90	10.9	161.9	5,716.6
CX 8025	AVANCE	0.19	0.28	0.18	0.18	0.26	0.18	0.25	0.17	0.18	0.21	4.04	4.01	15.39	12.5	191.9	6,775.7
CX 8026	AVANCE	0.15	0.17	0.18	0.23	0.22	0.15	0.18	0.20	0.17	0.18	3.98	3.97	15.01	11.0	165.1	5,831.0
CX 8025	AVANCE	0.22	0.17	0.26	0.29	0.25	0.26	0.13	0.18	0.24	0.22	4.10	4.05	15.77	13.3	210.3	7,427.7
CX 8025	AVANCE	0.17	0.18	0.24	0.27	0.26	0.29	0.18	0.23	0.19	0.22	4.11	4.05	15.81	13.4	211.9	7,483.0
CX 8025	AVANCE	0.26	0.21	0.22	0.25	0.22	0.28	0.27	0.24	0.18	0.24	4.03	4.04	15.47	14.2	219.6	7,756.2
CX 8025	AVANCE	0.19	0.24	0.17	0.24	0.28	0.18	0.27	0.17	0.25	0.22	4.06	4.20	16.20	13.3	214.9	7,589.5
CX 8025	AVANCE	0.18	0.14	0.18	0.21	0.26	0.21	0.19	0.23	0.21	0.20	4.02	4.13	15.77	12.1	190.3	6,721.1

Anexo C-2

FECHA	NIVEL	LABOR	ETAPA	VELOCIDAD (m/s)										SECCIÓN		ÁREA	VELOCIDAD	INGRESO DE AIRE	
				V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	PROM (m/s)	ANCHO (m)	ALTO (m)	(m2)	(m/min)	(m3/min)	(CFM)
18-Mar	1370	CA DDH 8112	EXPLORACIÓN	0.13	0.25	0.23	0.28	0.31	0.32	0.34	0.30	0.18	0.26	3.48	3.51	11.60	15.6	181.0	6,392.7
19-Mar	1370	CA DDH 8112	EXPLORACIÓN	0.19	0.17	0.24	0.21	0.31	0.24	0.29	0.21	0.17	0.23	3.52	3.55	11.87	13.5	160.7	5,673.5
20-Mar	1370	CA DDH 8112	EXPLORACIÓN	0.17	0.23	0.21	0.31	0.17	0.20	0.25	0.13	0.39	0.23	3.49	3.56	11.80	13.7	162.1	5,724.4
21-Mar	1370	CA DDH 8112	EXPLORACIÓN	0.16	0.21	0.16	0.23	0.24	0.27	0.14	0.18	0.22	0.20	3.52	3.48	11.64	12.1	140.4	4,958.9
22-Mar	1370	CA DDH 8112	EXPLORACIÓN	0.13	0.22	0.27	0.14	0.28	0.21	0.17	0.18	0.34	0.22	3.55	3.53	11.90	12.9	154.0	5,437.4
23-Mar	1370	CA DDH 8112	EXPLORACIÓN	0.24	0.15	0.26	0.29	0.31	0.29	0.12	0.14	0.20	0.22	3.52	3.52	11.77	13.3	156.9	5,542.4
24-Mar	1370	CA DDH 8112	EXPLORACIÓN	0.23	0.28	0.31	0.25	0.23	0.21	0.13	0.22	0.19	0.23	3.51	3.51	11.70	13.7	160.0	5,648.7
25-Mar	1370	CA DDH 8112	EXPLORACIÓN	0.20	0.21	0.21	0.12	0.10	0.13	0.29	0.23	0.17	0.18	3.50	3.52	11.70	11.1	129.5	4,574.1
26-Mar	1370	CA DDH 8112	EXPLORACIÓN	0.25	0.20	0.29	0.14	0.19	0.20	0.25	0.13	0.29	0.22	3.51	3.48	11.60	12.9	150.1	5,300.0
27-Mar	1370	CA DDH 8112	EXPLORACIÓN	0.27	0.25	0.27	0.19	0.24	0.27	0.27	0.16	0.25	0.24	3.54	3.5	11.77	14.5	170.3	6,013.3
28-Mar	1370	CA DDH 8112	EXPLORACIÓN	0.17	0.23	0.24	0.18	0.28	0.19	0.24	0.28	0.19	0.22	3.49	3.52	11.67	13.3	155.6	5,495.2
29-Mar	1370	CA DDH 8112	EXPLORACIÓN	0.13	0.25	0.23	0.28	0.31	0.32	0.23	0.21	0.18	0.24	3.52	3.62	12.11	14.3	172.7	6,100.4
30-Mar	1370	CA DDH 8112	EXPLORACIÓN	0.21	0.25	0.13	0.22	0.12	0.17	0.24	0.29	0.19	0.20	3.51	3.57	11.90	12.1	144.4	5,100.7
31-Mar	1370	CA DDH 8112	EXPLORACIÓN	0.15	0.27	0.29	0.19	0.18	0.24	0.21	0.27	0.18	0.22	3.48	3.52	11.64	13.2	153.6	5,424.6
1-Abr	1370	CA DDH 8112	EXPLORACIÓN	0.13	0.25	0.23	0.28	0.31	0.32	0.34	0.30	0.18	0.26	3.51	3.52	11.74	15.6	183.1	6,466.2
2-Abr	1370	CA DDH 8112	EXPLORACIÓN	0.21	0.14	0.15	0.13	0.29	0.21	0.26	0.22	0.24	0.21	3.49	3.51	11.64	12.3	143.5	5,068.6
4-Abr	1370	CA DDH 8112	EXPLORACIÓN	0.13	0.25	0.23	0.28	0.31	0.32	0.34	0.30	0.18	0.26	3.51	3.50	11.67	15.6	182.1	6,429.5
5-Abr	1370	CA DDH 8112	EXPLORACIÓN	0.15	0.27	0.29	0.19	0.28	0.19	0.24	0.22	0.21	0.23	3.48	3.5	11.57	13.6	157.4	5,557.3
6-Abr	1370	CA DDH 8112	EXPLORACIÓN	0.18	0.19	0.24	0.29	0.22	0.25	0.19	0.15	0.25	0.22	3.52	3.53	11.80	13.1	154.2	5,447.0
8-Abr	1370	CA DDH 8112	EXPLORACIÓN	0.13	0.25	0.23	0.28	0.31	0.32	0.34	0.30	0.18	0.26	3.49	3.54	11.74	15.6	183.1	6,465.9
10-Abr	1370	CA DDH 8112	EXPLORACIÓN	0.31	0.27	0.28	0.31	0.25	0.36	0.42	0.28	0.21	0.30	3.52	3.52	11.77	17.9	211.1	7,454.6
12-Abr	1370	CA DDH 8112	EXPLORACIÓN	0.16	0.23	0.20	0.15	0.22	0.23	0.16	0.23	0.22	0.20	3.54	3.48	11.70	12.0	140.4	4,959.5
13-Abr	1370	CA DDH 8112	EXPLORACIÓN	0.21	0.30	0.27	0.26	0.13	0.17	0.21	0.30	0.23	0.23	3.70	3.50	12.30	13.9	170.6	6,024.4
14-Abr	1370	CA DDH 8112	EXPLORACIÓN	0.13	0.25	0.23	0.28	0.31	0.32	0.34	0.30	0.18	0.26	3.51	3.49	11.64	15.6	181.5	6,411.1

FECHA	NIVEL	LABOR	ETAPA	VELOCIDAD (m/s)										SECCIÓN		ÁREA	VELOCIDAD	INGRESO DE AIRE	
				V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	PROM (m/s)	ANCHO (m)	ALTO (m)	(m2)	(m/min)	(m3/min)	(CFM)
15-Abr	1370	CA DDH 8112	EXPLORACIÓN	0.27	0.28	0.31	0.25	0.36	0.24	0.21	0.31	0.19	0.27	3.51	3.51	11.70	16.1	188.8	6,668.3
16-Abr	1370	CA DDH 8112	EXPLORACIÓN	0.20	0.23	0.26	0.29	0.25	0.29	0.31	0.23	0.20	0.25	3.56	3.52	11.90	15.1	179.4	6,334.1
18-Abr	1370	CA DDH 8112	EXPLORACIÓN	0.17	0.27	0.31	0.19	0.27	0.12	0.17	0.24	0.28	0.22	3.59	3.53	12.04	13.5	162.1	5,725.4
21-Abr	1370	CA DDH 8112	EXPLORACIÓN	0.21	0.16	0.26	0.24	0.29	0.18	0.24	0.21	0.28	0.23	3.48	3.49	11.54	13.8	159.2	5,622.9
22-Abr	1370	CA DDH 8112	EXPLORACIÓN	0.15	0.21	0.21	0.24	0.23	0.18	0.13	0.18	0.11	0.18	3.52	3.64	12.17	10.9	133.1	4,699.7
24-Abr	1370	CA DDH 8112	EXPLORACIÓN	0.21	0.16	0.23	0.24	0.17	0.24	0.21	0.25	0.22	0.21	3.51	3.53	11.77	12.9	151.5	5,348.4
25-Abr	1370	CA DDH 8112	EXPLORACIÓN	0.14	0.17	0.20	0.10	0.28	0.23	0.25	0.17	0.14	0.19	3.53	3.51	11.77	11.2	131.8	4,655.6
27-Abr	1370	CA DDH 8112	EXPLORACIÓN	0.18	0.27	0.14	0.18	0.26	0.14	0.21	0.19	0.23	0.20	3.54	3.58	12.04	12.0	144.5	5,102.0
28-Abr	1370	CA DDH 8112	EXPLORACIÓN	0.23	0.21	0.25	0.13	0.22	0.14	0.11	0.18	0.22	0.19	3.64	3.51	12.14	11.3	136.8	4,829.2
29-Abr	1370	CA DDH 8112	EXPLORACIÓN	0.21	0.14	0.26	0.28	0.18	0.27	0.18	0.23	0.21	0.22	3.54	3.49	11.74	13.1	153.4	5,415.9
30-Abr	1370	CA DDH 8112	EXPLORACIÓN	0.24	0.17	0.24	0.21	0.16	0.23	0.19	0.27	0.20	0.21	3.52	3.55	11.87	12.7	151.2	5,338.1
1-May	1370	CA DDH 8112	EXPLORACIÓN	0.17	0.21	0.14	0.26	0.26	0.18	0.27	0.18	0.12	0.20	3.51	3.49	11.64	11.9	138.9	4,904.2
2-May	1370	CA DDH 8112	EXPLORACIÓN	0.16	0.22	0.15	0.22	0.19	0.14	0.21	0.17	0.22	0.19	3.49	3.61	11.97	11.2	134.1	4,734.0
3-May	1370	CA DDH 8112	EXPLORACIÓN	0.19	0.16	0.20	0.29	0.26	0.25	0.12	0.17	0.17	0.20	3.51	3.59	11.97	12.1	144.4	5,101.1
4-May	1370	CA DDH 8112	EXPLORACIÓN	0.15	0.18	0.11	0.17	0.21	0.21	0.23	0.19	0.23	0.19	3.56	3.52	11.90	11.2	133.3	4,708.5
5-May	1370	CA DDH 8112	EXPLORACIÓN	0.22	0.22	0.27	0.24	0.19	0.28	0.13	0.18	0.24	0.22	3.49	3.56	11.80	13.1	155.0	5,474.3
6-May	1370	CA DDH 8112	EXPLORACIÓN	0.17	0.25	0.27	0.26	0.24	0.26	0.18	0.23	0.19	0.23	3.53	3.51	11.77	13.7	160.9	5,680.9
7-May	1370	CA DDH 8112	EXPLORACIÓN	0.26	0.16	0.28	0.22	0.29	0.19	0.27	0.24	0.18	0.23	3.56	3.51	11.87	13.9	165.4	5,841.0
8-May	1370	CA DDH 8112	EXPLORACIÓN	0.16	0.28	0.15	0.23	0.30	0.15	0.14	0.10	0.12	0.18	3.59	3.53	12.04	10.9	130.8	4,620.0
9-May	1370	CA DDH 8112	EXPLORACIÓN	0.24	0.20	0.27	0.28	0.19	0.13	0.28	0.16	0.22	0.22	3.55	3.52	11.87	13.1	155.9	5,505.8
10-May	1370	CA DDH 8112	EXPLORACIÓN	0.15	0.17	0.18	0.23	0.22	0.15	0.18	0.20	0.17	0.18	3.52	3.64	12.17	11.0	133.9	4,728.4
11-May	1370	CA DDH 8112	EXPLORACIÓN	0.23	0.18	0.27	0.28	0.26	0.27	0.14	0.19	0.25	0.23	3.51	3.58	11.94	13.8	164.7	5,817.6
12-May	1370	CA DDH 8112	EXPLORACIÓN	0.18	0.19	0.25	0.23	0.27	0.27	0.18	0.23	0.22	0.22	3.55	3.52	11.87	13.5	159.9	5,645.6
13-May	1370	CA DDH 8112	EXPLORACIÓN	0.23	0.22	0.15	0.26	0.23	0.29	0.27	0.30	0.26	0.25	3.53	3.54	11.87	14.7	174.9	6,176.7
14-May	1370	CA DDH 8112	EXPLORACIÓN	0.30	0.26	0.27	0.30	0.26	0.22	0.25	0.28	0.27	0.27	3.47	3.5	11.54	16.1	185.4	6,546.3
15-May	1370	CA DDH 8112	EXPLORACIÓN	0.18	0.14	0.18	0.21	0.26	0.21	0.19	0.23	0.21	0.20	3.51	3.52	11.74	12.1	141.7	5,003.3

Anexo C-3

FECHA	NIVEL	LABOR	ETAPA	VELOCIDAD (m/s)										SECCIÓN		ÁREA (m2)	VELOCIDAD	INGRESO DE AIRE	
				V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	PROM (m/s)	ANCHO (m)	ALTO (m)		(m/min)	(m3/min)	(CFM)
18-Mar	1370	CX 8025	AVANCE	0.4	0.35	0.44	0.45	0.43	0.44	0.31	0.36	0.42	0.40	4.02	3.98	15.20	24.0	364.8	12882.371
19-Mar	1370	CX 8025	AVANCE	0.35	0.36	0.42	0.4	0.44	0.44	0.35	0.4	0.39	0.39	4.04	3.98	15.28	23.7	361.5	12766.65
20-Mar	1370	CX 8025	AVANCE	0.4	0.39	0.32	0.43	0.4	0.46	0.44	0.47	0.43	0.42	4.02	4.03	15.39	24.9	383.7	13551.485
21-Mar	1370	CX 8025	AVANCE	0.37	0.45	0.34	0.44	0.33	0.43	0.36	0.44	0.41	0.40	3.95	4.03	15.12	23.8	359.9	12710.263
22-Mar	1370	CX 8025	AVANCE	0.35	0.31	0.35	0.38	0.43	0.38	0.36	0.4	0.38	0.37	4	4.05	15.39	22.3	342.7	12101.68
23-Mar	1370	CX 8025	AVANCE	0.38	0.36	0.36	0.42	0.40	0.35	0.43	0.42	0.39	0.39	4.01	3.94	15.01	23.4	351.2	12403.147
24-Mar	1370	CX 8025	AVANCE	0.39	0.46	0.48	0.37	0.51	0.48	0.40	0.29	0.23	0.40	4.02	4.10	15.66	24.1	376.8	13307.648
25-Mar	1370	CX 8025	AVANCE	0.44	0.36	0.40	0.48	0.4	0.40	0.42	0.38	0.38	0.41	3.96	4.10	15.42	24.4	376.4	13290.591
26-Mar	1370	CX 8025	AVANCE	0.36	0.40	0.38	0.32	0.4	0.45	0.44	0.32	0.39	0.38	3.85	3.97	14.52	23.1	334.9	11828.005
27-Mar	1370	CX 8025	AVANCE	0.28	0.32	0.32	0.38	0.48	0.43	0.36	0.43	0.47	0.39	4.12	3.98	15.58	23.1	360.4	12726.059
28-Mar	1370	CX 8025	AVANCE	0.35	0.38	0.47	0.48	0.46	0.47	0.34	0.42	0.37	0.42	4.07	4.1	15.85	24.9	395.3	13958.349
29-Mar	1370	CX 8025	AVANCE	0.31	0.33	0.43	0.36	0.42	0.40	0.35	0.43	0.42	0.38	4.05	4.12	15.85	23.0	364.6	12875.245
30-Mar	1370	CX 8025	AVANCE	0.35	0.43	0.39	0.42	0.38	0.42	0.36	0.41	0.37	0.39	4.09	4.13	16.05	23.5	377.6	13336.204
31-Mar	1370	CX 8025	AVANCE	0.33	0.35	0.4	0.45	0.47	0.37	0.40	0.31	0.29	0.37	4.11	4.04	15.77	22.5	354.4	12515.185
1-Abr	1370	CX 8025	AVANCE	0.43	0.38	0.36	0.4	0.48	0.4	0.40	0.42	0.34	0.40	4.06	4.12	15.89	24.1	382.4	13505.623
2-Abr	1370	CX 8025	AVANCE	0.40	0.43	0.45	0.37	0.34	0.37	0.38	0.39	0.33	0.38	4.11	4.56	17.80	23.1	410.7	14503.304
4-Abr	1370	CX 8025	AVANCE	0.37	0.42	0.4	0.35	0.52	0.4	0.33	0.43	0.31	0.39	4.02	3.95	15.09	23.5	355.0	12536.665
5-Abr	1370	CX 8025	AVANCE	0.42	0.41	0.33	0.43	0.39	0.42	0.38	0.42	0.41	0.40	4.1	4.12	16.05	24.1	386.2	13638.684
6-Abr	1370	CX 8025	AVANCE	0.39	0.46	0.48	0.37	0.51	0.48	0.4	0.29	0.23	0.40	4.06	4.02	15.51	24.1	373.2	13177.817
8-Abr	1370	CX 8025	AVANCE	0.39	0.37	0.44	0.41	0.46	0.32	0.4	0.34	0.33	0.38	3.97	4.21	15.88	23.1	366.3	12934.001
10-Abr	1370	CX 8025	AVANCE	0.32	0.32	0.38	0.48	0.43	0.39	0.46	0.48	0.37	0.40	3.99	4.18	15.84	24.2	383.4	13540.665
12-Abr	1370	CX 8025	AVANCE	0.31	0.32	0.34	0.39	0.48	0.44	0.42	0.39	0.33	0.38	4.03	4.06	15.54	22.8	354.4	12515.303
13-Abr	1370	CX8025	AVANCE	0.39	0.42	0.34	0.40	0.40	0.38	0.37	0.51	0.48	0.41	4.05	3.98	15.31	24.6	376.7	13302.971
14-Abr	1370	CX 8025	AVANCE	0.41	0.34	0.37	0.38	0.42	0.49	0.41	0.46	0.32	0.40	4.02	4.04	15.43	24.0	370.3	13076.578

FECHA	NIVEL	LABOR	ETAPA	VELOCIDAD (m/s)										SECCIÓN		ÁREA	VELOCIDAD	INGRESO DE AIRE	
				V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	PROM (m/s)	ANCHO (m)	ALTO (m)	(m2)	(m/min)	(m3/min)	(CFM)
15-Abr	1370	CX 8025	AVANCE	0.37	0.36	0.32	0.42	0.45	0.31	0.44	0.4	0.37	0.38	4.05	3.94	15.16	22.9	347.6	12277.046
16-Abr	1370	CX 8025	AVANCE	0.41	0.33	0.46	0.34	0.48	0.39	0.41	0.32	0.37	0.39	3.99	4.2	15.92	23.4	372.5	13155.685
18-Abr	1370	CX 8025	AVANCE	0.33	0.36	0.4	0.29	0.39	0.44	0.37	0.45	0.43	0.38	4.02	4.03	15.39	23.1	355.0	12536.935
21-Abr	1370	CX 8025	AVANCE	0.33	0.43	0.39	0.42	0.41	0.38	0.42	0.37	0.34	0.39	4.01	3.98	15.16	23.3	352.8	12457.677
22-Abr	1370	CX 8025	AVANCE	0.31	0.34	0.35	0.39	0.51	0.37	0.36	0.41	0.35	0.38	3.85	4.08	14.92	22.6	337.3	11909.808
24-Abr	1370	CX 8025	AVANCE	0.32	0.41	0.33	0.30	0.40	0.40	0.33	0.45	0.45	0.38	4.02	3.98	15.20	22.6	343.5	12130.899
25-Abr	1370	CX 8025	AVANCE	0.34	0.40	0.40	0.43	0.45	0.37	0.32	0.37	0.3	0.38	4.06	4.05	15.62	22.5	352.0	12430.309
27-Abr	1370	CX 8025	AVANCE	0.45	0.40	0.36	0.46	0.29	0.38	0.42	0.40	0.39	0.39	4.13	4.3	16.87	23.7	399.3	14100.387
28-Abr	1370	CX 8025	AVANCE	0.33	0.36	0.39	0.29	0.47	0.42	0.44	0.36	0.33	0.38	3.98	4.06	15.35	22.6	346.9	12251.605
29-Abr	1370	CX 8025	AVANCE	0.37	0.37	0.39	0.36	0.43	0.41	0.37	0.42	0.45	0.40	4.05	4.09	15.74	23.8	374.5	13226.067
30-Abr	1370	CX 8025	AVANCE	0.42	0.40	0.44	0.32	0.41	0.33	0.30	0.37	0.41	0.38	4.10	4.04	15.74	22.7	356.7	12595.874
1-May	1370	CX 8025	AVANCE	0.48	0.46	0.47	0.34	0.39	0.45	0.29	0.47	0.42	0.42	4.13	4.21	16.52	25.1	415.2	14660.8
2-May	1370	CX 8025	AVANCE	0.36	0.40	0.33	0.45	0.45	0.37	0.46	0.37	0.31	0.39	4.12	3.97	15.54	23.3	362.6	12803.831
3-May	1370	CX 8025	AVANCE	0.48	0.44	0.42	0.33	0.43	0.39	0.42	0.42	0.39	0.41	4.10	4.05	15.77	24.8	391.2	13815.481
4-May	1370	CX 8025	AVANCE	0.34	0.37	0.30	0.36	0.40	0.40	0.42	0.38	0.42	0.38	3.97	4.03	15.20	22.6	343.5	12130.52
5-May	1370	CX 8025	AVANCE	0.37	0.34	0.40	0.40	0.38	0.45	0.44	0.32	0.37	0.39	3.97	3.98	15.01	23.1	347.2	12262.732
6-May	1370	CX 8025	AVANCE	0.35	0.47	0.38	0.42	0.49	0.34	0.33	0.31	0.29	0.38	4.02	4.18	15.96	22.5	359.7	12702.91
7-May	1370	CX 8025	AVANCE	0.39	0.29	0.47	0.42	0.39	0.42	0.34	0.36	0.39	0.39	4.12	4.05	15.85	23.1	366.7	12949.884
8-May	1370	CX 8026	AVANCE	0.34	0.36	0.37	0.42	0.41	0.34	0.37	0.39	0.36	0.37	4.12	4.09	16.01	22.4	358.6	12663.215
9-May	1370	CX 8025	AVANCE	0.35	0.29	0.47	0.42	0.44	0.44	0.32	0.41	0.37	0.39	4.07	4.01	15.50	23.4	362.8	12812.388
10-May	1370	CX 8025	AVANCE	0.37	0.41	0.39	0.40	0.45	0.40	0.38	0.42	0.40	0.40	4.05	4.13	15.89	24.1	383.5	13542.468
11-May	1370	CX 8025	AVANCE	0.43	0.38	0.47	0.48	0.46	0.47	0.34	0.39	0.45	0.43	4.10	4.08	15.89	25.8	410.0	14479.02
12-May	1370	CX 8025	AVANCE	0.38	0.39	0.45	0.43	0.47	0.47	0.38	0.43	0.42	0.42	3.98	4.11	15.54	25.5	395.7	13975.663
13-May	1370	CX 8025	AVANCE	0.43	0.42	0.35	0.46	0.43	0.49	0.47	0.5	0.46	0.45	4.06	4.05	15.62	26.7	417.6	14747.201
14-May	1370	CX 8025	AVANCE	0.4	0.36	0.37	0.47	0.36	0.46	0.34	0.47	0.39	0.40	3.93	3.99	14.90	24.1	359.5	12695.745
15-May	1370	CX 8025	AVANCE	0.38	0.34	0.38	0.41	0.46	0.41	0.39	0.43	0.41	0.40	3.99	4.02	15.24	24.1	366.7	12950.613

ANEXO C-4

FECHA	NIVEL	LABOR	ETAPA	VELOCIDAD (m/s)										SECCIÓN		ÁREA	VELOCIDAD	INGRESO DE AIRE	
				V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	PROM (m/s)	ANCHO (m)	ALTO (m)	(m2)	(m/min)	(m3/min)	(CFM)
2-Jun	1370	CA 8170	EXPLORACIÓN	0.53	0.65	0.63	0.68	0.71	0.63	0.74	0.65	0.59	0.65	3.49	3.58	11.87	38.7	459.7	16235.616
3-Jun	1370	CA 8170	EXPLORACIÓN	0.61	0.61	0.55	0.53	0.72	0.61	0.66	0.73	0.68	0.63	3.53	3.52	11.80	38.0	448.6	15840.774
4-Jun	1370	CA 8170	EXPLORACIÓN	0.53	0.65	0.63	0.68	0.71	0.72	0.74	0.70	0.58	0.66	3.51	3.56	11.87	39.6	470.1	16600.751
5-Jun	1370	CA 8170	EXPLORACIÓN	0.55	0.67	0.69	0.59	0.74	0.63	0.64	0.71	0.61	0.65	3.54	3.51	11.80	38.9	458.8	16201.794
6-Jun	1370	CA 8170	EXPLORACIÓN	0.66	0.59	0.64	0.69	0.62	0.65	0.72	0.59	0.65	0.65	3.57	3.53	11.97	38.7	463.7	16375.827
7-Jun	1370	CA 8170	EXPLORACIÓN	0.57	0.60	0.58	0.63	0.66	0.67	0.69	0.65	0.53	0.62	3.51	3.52	11.74	37.2	436.6	15419.424
8-Jun	1370	CA 8170	EXPLORACIÓN	0.6	0.54	0.68	0.68	0.72	0.66	0.76	0.60	0.57	0.65	3.46	3.54	11.64	38.7	450.7	15916.21
9-Jun	1370	CA 8170	EXPLORACIÓN	0.52	0.58	0.56	0.61	0.58	0.67	0.71	0.64	0.66	0.61	3.49	3.51	11.64	36.9	429.0	15151.019
10-Jun	1370	CA 8170	EXPLORACIÓN	0.58	0.69	0.61	0.59	0.64	0.63	0.57	0.61	0.58	0.61	3.56	3.52	11.90	36.7	436.5	15414.858
11-Jun	1370	CA 8170	EXPLORACIÓN	0.58	0.64	0.72	0.67	0.72	0.62	0.63	0.62	0.66	0.65	3.48	3.52	11.64	39.1	454.6	16054.756
12-Jun	1370	CA 8170	EXPLORACIÓN	0.58	0.61	0.68	0.61	0.69	0.62	0.67	0.64	0.61	0.63	3.51	3.54	11.80	38.1	449.3	15868.31
13-Jun	1370	CA 8170	EXPLORACIÓN	0.57	0.6	0.71	0.53	0.75	0.56	0.63	0.60	0.54	0.61	3.53	3.51	11.77	36.6	430.8	15213.822
14-Jun	1370	CA 8170	EXPLORACIÓN	0.58	0.63	0.66	0.54	0.69	0.69	0.65	0.56	0.61	0.62	3.51	3.55	11.84	37.4	442.7	15634.446
15-Jun	1370	CA 8170	EXPLORACIÓN	0.66	0.64	0.76	0.56	0.69	0.56	0.59	0.56	0.49	0.61	3.64	3.51	12.14	36.7	445.9	15745.058
16-Jun	1370	CA 8170	EXPLORACIÓN	0.59	0.76	0.59	0.46	0.65	0.54	0.59	0.62	0.52	0.59	3.56	3.61	12.21	35.5	433.0	15291.603
17-Jun	1370	CA 8170	EXPLORACIÓN	0.62	0.72	0.6	0.61	0.64	0.65	0.67	0.57	0.62	0.63	3.59	3.54	12.07	38.0	458.8	16201.557
18-Jun	1370	CA 8170	EXPLORACIÓN	0.6	0.64	0.65	0.69	0.65	0.52	0.57	0.56	0.6	0.61	3.51	3.49	11.64	36.5	425.2	15014.03
19-Jun	1370	CA 8170	EXPLORACIÓN	0.61	0.49	0.67	0.75	0.67	0.67	0.48	0.58	0.62	0.62	3.56	3.52	11.90	36.9	439.7	15526.966
20-Jun	1370	CA 8170	EXPLORACIÓN	0.58	0.61	0.62	0.6	0.69	0.56	0.73	0.56	0.5	0.61	3.56	3.52	11.90	36.3	432.5	15274.723
21-Jun	1370	CA 8170	EXPLORACIÓN	0.59	0.71	0.7	0.66	0.64	0.59	0.69	0.57	0.61	0.64	3.59	3.53	12.04	38.4	462.3	16325.851
22-Jun	1370	CA 8170	EXPLORACIÓN	0.55	0.63	0.68	0.61	0.63	0.66	0.49	0.59	0.63	0.61	3.51	3.49	11.64	36.5	424.4	14986.632
23-Jun	1370	CA 8170	EXPLORACIÓN	0.58	0.61	0.69	0.66	0.73	0.53	0.6	0.5	0.48	0.60	3.52	3.64	12.17	35.9	436.6	15417.377
24-Jun	1370	CA 8170	EXPLORACIÓN	0.53	0.59	0.67	0.71	0.67	0.56	0.52	0.59	0.65	0.61	3.52	3.61	12.07	36.6	441.8	15602.938
25-Jun	1370	CA 8170	EXPLORACIÓN	0.48	0.56	0.48	0.57	0.66	0.60	0.58	0.63	0.57	0.57	3.54	3.56	11.97	34.2	409.5	14459.551

FECHA	NIVEL	LABOR	ETAPA	VELOCIDAD (m/s)										SECCIÓN		ÁREA	VELOCIDAD	INGRESO DE AIRE	
				V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	PROM (m/s)	ANCHO (m)	ALTO (m)	(m2)	(m/min)	(m3/min)	(CFM)
26-Jun	1370	CA 8170	EXPLORACIÓN	0.61	0.57	0.69	0.64	0.65	0.53	0.64	0.58	0.55	0.61	3.48	3.51	11.60	36.4	422.4	14916.371
27-Jun	1370	CA 8170	EXPLORACIÓN	0.57	0.58	0.63	0.66	0.54	0.63	0.69	0.61	0.49	0.60	3.55	3.52	11.87	36.0	427.4	15092.075
28-Jun	1370	CA 8170	EXPLORACIÓN	0.56	0.58	0.76	0.61	0.7	0.6	0.66	0.62	0.6	0.63	3.49	3.56	11.80	37.9	447.7	15811.456
29-Jun	1370	CA 8170	EXPLORACIÓN	0.53	0.57	0.65	0.63	0.73	0.63	0.64	0.63	0.67	0.63	3.52	3.59	12.00	37.9	454.6	16053.496
30-Jun	1370	CA 8170	EXPLORACIÓN	0.58	0.60	0.65	0.58	0.68	0.64	0.77	0.6	0.54	0.63	3.50	3.52	11.70	37.6	440.1	15540.822
1-Jul	1370	CA 8170	EXPLORACIÓN	0.62	0.61	0.63	0.66	0.60	0.58	0.63	0.51	0.68	0.61	3.53	3.54	11.87	36.8	436.9	15427.701
2-Jul	1370	CA 8170	EXPLORACIÓN	0.58	0.60	0.73	0.70	0.72	0.57	0.68	0.51	0.49	0.62	3.54	3.55	11.94	37.2	444.3	15688.613
3-Jul	1370	CA 8170	EXPLORACIÓN	0.62	0.63	0.67	0.75	0.49	0.54	0.64	0.59	0.50	0.60	3.53	3.56	11.94	36.2	432.2	15261.904
4-Jul	1370	CA 8170	EXPLORACIÓN	0.62	0.67	0.73	0.60	0.77	0.6	0.61	0.63	0.51	0.64	3.52	3.62	12.11	38.3	463.3	16362.824
5-Jul	1370	CA 8170	EXPLORACIÓN	0.68	0.71	0.64	0.74	0.49	0.59	0.69	0.50	0.71	0.64	3.51	3.55	11.84	38.3	453.8	16024.611
6-Jul	1370	CA 8170	EXPLORACIÓN	0.63	0.70	0.80	0.61	0.75	0.67	0.67	0.48	0.42	0.64	3.51	3.52	11.74	38.2	448.4	15833.925
7-Jul	1370	CA 8170	EXPLORACIÓN	0.56	0.57	0.44	0.49	0.55	0.53	0.60	0.56	0.52	0.54	3.55	3.57	12.04	32.1	386.9	13662.425
8-Jul	1370	CA 8170	EXPLORACIÓN	0.63	0.61	0.76	0.65	0.70	0.51	0.67	0.53	0.52	0.62	3.51	3.50	11.67	37.2	434.2	15331.814
9-Jul	1370	CA 8170	EXPLORACIÓN	0.58	0.57	0.67	0.71	0.66	0.62	0.72	0.49	0.56	0.62	3.54	3.52	11.84	37.2	440.4	15551.214
10-Jul	1370	CA 8170	EXPLORACIÓN	0.55	0.56	0.66	0.63	0.72	0.63	0.69	0.58	0.52	0.62	3.49	3.54	11.74	36.9	433.5	15308.147
11-Jul	1370	CA 8170	EXPLORACIÓN	0.58	0.71	0.66	0.65	0.57	0.61	0.63	0.66	0.61	0.63	3.56	3.61	12.21	37.9	462.3	16326.373
12-Jul	1370	CA 8170	EXPLORACIÓN	0.61	0.60	0.64	0.66	0.69	0.50	0.71	0.59	0.56	0.62	3.52	3.52	11.77	37.1	436.3	15407.93
13-Jul	1370	CA 8170	EXPLORACIÓN	0.52	0.63	0.70	0.51	0.67	0.72	0.69	0.71	0.58	0.64	3.53	3.55	11.90	38.2	454.8	16059.864
14-Jul	1370	CA 8170	EXPLORACIÓN	0.57	0.60	0.72	0.53	0.63	0.63	0.64	0.64	0.62	0.62	3.53	3.51	11.77	37.2	437.9	15463.229
15-Jul	1370	CA 8170	EXPLORACIÓN	0.68	0.71	0.64	0.74	0.44	0.49	0.55	0.53	0.60	0.60	3.51	3.56	11.87	35.9	425.8	15035.697
16-Jul	1370	CA 8170	EXPLORACIÓN	0.57	0.67	0.71	0.66	0.65	0.57	0.69	0.56	0.53	0.62	3.53	3.52	11.81	37.4	441.6	15595.861
17-Jul	1370	CA 8170	EXPLORACIÓN	0.63	0.58	0.67	0.68	0.66	0.67	0.54	0.59	0.65	0.63	3.56	3.51	11.87	37.8	448.7	15846.171
18-Jul	1370	CA 8170	EXPLORACIÓN	0.58	0.59	0.65	0.63	0.67	0.67	0.58	0.63	0.62	0.62	3.59	3.53	12.04	37.5	451.1	15929.042
19-Jul	1370	CA 8170	EXPLORACIÓN	0.63	0.62	0.55	0.66	0.63	0.69	0.67	0.70	0.66	0.65	3.56	3.54	11.97	38.7	463.7	16376.216
20-Jul	1370	CA 8170	EXPLORACIÓN	0.60	0.56	0.57	0.67	0.56	0.66	0.49	0.67	0.59	0.60	3.52	3.64	12.17	35.8	435.8	15388.72
21-Jul	1370	CA 8170	EXPLORACIÓN	0.58	0.54	0.58	0.61	0.66	0.61	0.59	0.63	0.61	0.60	3.51	3.58	11.94	36.1	430.5	15204.481

ANEXO D

MONITOREO DE GASES

D-1) Medición de niveles de ácido sulfhídrico marzo - mayo, frente de avance

D-2) Medición de niveles de ácido sulfhídrico marzo - mayo, CA DDH 8112

D-3) Medición de niveles de ácido sulfhídrico marzo - mayo, frente de avance

D-4) Medición de niveles de ácido sulfhídrico marzo - mayo, CA DDH 8170

Anexo D-1

		REGISTRO DE MONITOREO DE GASES EN LAS LABORES MINERAS				UNIDAD MINERA SAN VICENTE		
NIVEL	LABOR	ETAPA	FECHA	CO p.p.m.	CO ₂ p.p.m.	O ₂ %	H ₂ S p.p.m.	NO ₂ p.p.m.
1370	CX 8025	AVANCE	18-Mar	13.0	1600.0	20.4	0.4	0.0
1370	CX 8025	AVANCE	19-Mar	8.0	2000.0	20.4	0.5	1.0
1370	CX 8025	AVANCE	20-Mar	15.0	1800.0	20.3	0.8	1.0
1370	CX 8025	AVANCE	21-Mar	11.0	1500.0	20.4	0.6	1.0
1370	CX 8025	AVANCE	22-Mar	13.0	1800.0	20.3	0.5	0.0
1370	CX 8025	AVANCE	23-Mar	15.0	2100.0	20.3	0.6	1.0
1370	CX 8025	AVANCE	24-Mar	11.0	1900.0	20.3	0.4	1.0
1370	CX 8025	AVANCE	25-Mar	12.0	1600.0	20.3	0.8	1.0
1370	CX 8025	AVANCE	26-Mar	13.0	2000.0	20.4	0.5	2.0
1370	CX 8025	AVANCE	27-Mar	14.0	1800.0	20.4	0.6	1.0
1370	CX 8025	AVANCE	28-Mar	15.0	1500.0	20.4	0.4	1.0
1370	CX 8025	AVANCE	29-Mar	10.0	1900.0	20.3	0.7	0.0
1370	CX 8025	AVANCE	30-Mar	13.0	2100.0	20.3	0.4	2.0
1370	CX 8025	AVANCE	31-Mar	14.0	1500.0	20.3	0.6	1.0
1370	CX 8025	AVANCE	1-Abr	16.0	1700.0	20.3	0.5	1.0
1370	CX 8025	AVANCE	2-Abr	13.0	1800.0	20.3	0.7	1.0
1370	CX 8025	AVANCE	4-Abr	11.0	1800.0	20.3	0.7	1.0
1370	CX 8025	AVANCE	5-Abr	14.0	1500.0	20.4	0.5	1.0
1370	CX 8025	AVANCE	6-Abr	12.0	1800.0	20.4	0.6	2.0
1370	CX 8025	AVANCE	8-Abr	13.0	1900.0	20.4	0.4	1.0
1370	CX 8025	AVANCE	10-Abr	11.0	1800.0	20.4	0.4	2.0
1370	CX 8025	AVANCE	12-Abr	12.0	1500.0	20.6	0.2	1.0
1370	CX 8025	AVANCE	13-Abr	13.0	1300.0	20.6	0.3	1.0
1370	CX 8025	AVANCE	14-Abr	14.0	1600.0	20.4	0.6	1.0

NIVEL	LABOR	ETAPA	FECHA	CO p.p.m.	CO2 p.p.m.	O2 %	H2S p.p.m.	NO2 p.p.m.
1370	CX 8025	AVANCE	15-Abr	13.0	1700.0	20.4	0.4	2.0
1370	CX 8025	AVANCE	16-Abr	11.0	1800.0	20.4	0.4	1.0
1370	CX 8025	AVANCE	18-Abr	13.0	2100.0	20.4	0.6	1.0
1370	CX 8025	AVANCE	21-Abr	12.0	1500.0	20.3	0.4	1.0
1370	CX 8025	AVANCE	22-Abr	14.0	1800.0	20.4	0.6	2.0
1370	CX 8025	AVANCE	24-Abr	13.0	1900.0	20.4	0.3	1.0
1370	CX 8025	AVANCE	25-Abr	10.0	1600.0	20.4	0.5	0.0
1370	CX 8025	AVANCE	27-Abr	12.0	1800.0	20.4	0.3	2.0
1370	CX 8025	AVANCE	28-Abr	11.0	1500.0	20.4	0.5	0.0
1370	CX 8025	AVANCE	29-Abr	13.0	2000.0	20.4	0.2	1.0
1370	CX 8025	AVANCE	30-Abr	12.0	1500.0	20.4	0.3	1.0
1370	CX 8025	AVANCE	1-May	15.0	1700.0	20.4	0.3	0.0
1370	CX 8025	AVANCE	2-May	13.0	1500.0	20.3	0.4	2.0
1370	CX 8025	AVANCE	3-May	11.0	1900.0	20.3	0.4	2.0
1370	CX 8025	AVANCE	4-May	12.0	1600.0	20.3	0.7	1.0
1370	CX 8025	AVANCE	5-May	10.0	2000.0	20.4	0.5	1.0
1370	CX 8025	AVANCE	6-May	13.0	1600.0	20.4	0.5	0.0
1370	CX 8025	AVANCE	7-May	11.0	1700.0	20.4	0.4	1.0
1370	CX 8025	AVANCE	8-May	10.0	1500.0	20.3	0.2	2.0
1370	CX 8025	AVANCE	9-May	12.0	1800.0	20.4	0.4	0.0
1370	CX 8025	AVANCE	10-May	11.0	1700.0	20.3	0.2	1.0
1370	CX 8025	AVANCE	11-May	13.0	1800.0	20.4	0.3	1.0
1370	CX 8025	AVANCE	12-May	14.0	1500.0	20.4	0.2	0.0
1370	CX 8025	AVANCE	13-May	11.0	2100.0	20.4	0.4	0.0
1370	CX 8025	AVANCE	14-May	9.0	1600.0	20.4	0.4	1.0
1370	CX 8025	AVANCE	15-May	12.0	1500.0	20.4	0.6	2.0

Anexo D-2

		REGISTRO DE MONITOREO DE GASES EN LAS LABORES MINERAS				UNIDAD MINERA SAN VICENTE		
NIVEL	LABOR	ETAPA	FECHA	CO p.p.m.	CO2 p.p.m.	O2 %	H2S p.p.m.	NO2 p.p.m.
1370	CA 8112	EXPLORACIÓN	18-Mar	11.0	700.0	20.4	13.0	0.0
1370	CA 8112	EXPLORACIÓN	19-Mar	12.0	1200.0	20.4	16.0	0.0
1370	CA 8112	EXPLORACIÓN	20-Mar	13.0	900.0	20.2	10.0	1.0
1370	CA 8112	EXPLORACIÓN	21-Mar	10.0	1500.0	20.3	18.0	1.0
1370	CA 8112	EXPLORACIÓN	22-Mar	9.0	500.0	20.3	16.0	1.0
1370	CA 8112	EXPLORACIÓN	23-Mar	4.0	2000.0	20.3	14.0	1.0
1370	CA 8112	EXPLORACIÓN	24-Mar	6.0	900.0	20.3	18.0	1.0
1370	CA 8112	EXPLORACIÓN	25-Mar	12.0	900.0	20.2	14.0	1.0
1370	CA 8112	EXPLORACIÓN	26-Mar	10.0	1900.0	20.4	16.0	0.0
1370	CA 8112	EXPLORACIÓN	27-Mar	8.0	500.0	20.4	20.0	2.0
1370	CA 8112	EXPLORACIÓN	28-Mar	9.0	600.0	20.4	19.0	1.0
1370	CA 8112	EXPLORACIÓN	29-Mar	6.0	300.0	20.3	17.0	0.0
1370	CA 8112	EXPLORACIÓN	30-Mar	7.0	1800.0	20.3	21.0	1.0
1370	CA 8112	EXPLORACIÓN	31-Mar	9.0	1600.0	20.3	22.0	1.0
1370	CA 8112	EXPLORACIÓN	1-Abr	3.0	300.0	20.3	21.0	1.0
1370	CA 8112	EXPLORACIÓN	2-Abr	5.0	500.0	20.3	20.0	0.0
1370	CA 8112	EXPLORACIÓN	4-Abr	1.0	300.0	20.3	24.0	1.0
1370	CA 8112	EXPLORACIÓN	5-Abr	6.0	600.0	20.3	21.0	1.0
1370	CA 8112	EXPLORACIÓN	6-Abr	7.0	1900.0	20.3	23.0	2.0
1370	CA 8112	EXPLORACIÓN	8-Abr	7.0	700.0	20.8	49.0	1.0
1370	CA 8112	EXPLORACIÓN	10-Abr	8.0	2000.0	20.8	30.0	2.0
1370	CA 8112	EXPLORACIÓN	12-Abr	4.0	600.0	20.6	19.0	0.0
1370	CA 8112	EXPLORACIÓN	13-Abr	4.0	1900.0	20.6	23.0	1.0
1370	CA 8112	EXPLORACIÓN	14-Abr	6.0	1000.0	20.8	31.0	1.0

NIVEL	LABOR	ETAPA	FECHA	CO p.p.m.	CO2 p.p.m.	O2 %	H2S p.p.m.	NO2 p.p.m.
1370	CA 8112	EXPLORACIÓN	15-Abr	3.0	500.0	20.6	18.0	0.0
1370	CA 8112	EXPLORACIÓN	16-Abr	6.0	1600.0	20.8	18.0	1.0
1370	CA 8112	EXPLORACIÓN	18-Abr	5.0	2100.0	20.2	14.0	1.0
1370	CA 8112	EXPLORACIÓN	21-Abr	7.0	1800.0	20.3	17.0	0.0
1370	CA 8112	EXPLORACIÓN	22-Abr	4.0	2000.0	20.3	15.0	2.0
1370	CA 8112	EXPLORACIÓN	24-Abr	6.0	1700.0	20.4	18.0	1.0
1370	CA 8112	EXPLORACIÓN	25-Abr	11.0	1600.0	20.8	16.0	0.0
1370	CA 8112	EXPLORACIÓN	27-Abr	8.0	1000.0	20.4	20.0	1.0
1370	CA 8112	EXPLORACIÓN	28-Abr	11.0	1300.0	20.4	15.0	0.0
1370	CA 8112	EXPLORACIÓN	29-Abr	9.0	1100.0	20.4	16.0	0.0
1370	CA 8112	EXPLORACIÓN	30-Abr	7.0	1400.0	20.4	21.0	1.0
1370	CA 8112	EXPLORACIÓN	1-May	7.0	900.0	20.3	17.0	0.0
1370	CA 8112	EXPLORACIÓN	2-May	10.0	1200.0	20.3	16.0	0.0
1370	CA 8112	EXPLORACIÓN	3-May	11.0	1800.0	20.3	20.0	1.0
1370	CA 8112	EXPLORACIÓN	4-May	11.0	1300.0	20.3	15.0	1.0
1370	CA 8112	EXPLORACIÓN	5-May	9.0	900.0	20.4	18.0	0.0
1370	CA 8112	EXPLORACIÓN	6-May	7.0	1200.0	20.4	23.0	1.0
1370	CA 8112	EXPLORACIÓN	7-May	8.0	1500.0	20.4	19.0	0.0
1370	CA 8112	EXPLORACIÓN	8-May	5.0	1100.0	20.2	23.0	2.0
1370	CA 8112	EXPLORACIÓN	9-May	8.0	800.0	20.4	21.0	1.0
1370	CA 8112	EXPLORACIÓN	10-May	7.0	1200.0	20.3	16.0	1.0
1370	CA 8112	EXPLORACIÓN	11-May	5.0	1100.0	20.4	19.0	0.0
1370	CA 8112	EXPLORACIÓN	12-May	3.0	900.0	20.4	21.0	2.0
1370	CA 8112	EXPLORACIÓN	13-May	6.0	600.0	20.4	22.0	1.0
1370	CA 8112	EXPLORACIÓN	14-May	8.0	800.0	20.4	18.0	1.0
1370	CA 8112	EXPLORACIÓN	15-May	7.0	700.0	20.4	13.0	2.0

Anexo D-3

		REGISTRO DE MONITOREO DE GASES EN LAS LABORES MINERAS				UNIDAD MINERA SAN VICENTE		
NIVEL	LABOR	ETAPA	FECHA	CO p.p.m.	CO2 p.p.m.	O2 %	H2S p.p.m.	NO2 p.p.m.
1370	CX 8025	AVANCE	2-Jun	8.0	1100.0	20.4	0.0	0.0
1370	CX 8025	AVANCE	3-Jun	11.0	1300.0	20.4	0.1	1.0
1370	CX 8025	AVANCE	4-Jun	7.0	1000.0	20.4	0.0	0.0
1370	CX 8025	AVANCE	5-Jun	9.0	900.0	20.4	0.1	0.0
1370	CX 8025	AVANCE	6-Jun	8.0	1000.0	20.4	0.0	0.0
1370	CX 8025	AVANCE	7-Ene	6.0	1200.0	20.4	0.0	1.0
1370	CX 8025	AVANCE	8-Ene	11.0	800.0	20.4	0.0	0.0
1370	CX 8025	AVANCE	9-Ene	11.0	900.0	20.4	0.1	0.0
1370	CX 8025	AVANCE	10-Ene	7.0	1300.0	20.4	0.0	0.0
1370	CX 8025	AVANCE	11-Jun	13.0	900.0	20.4	0.0	0.0
1370	CX 8025	AVANCE	12-Jun	8.0	1200.0	20.4	0.1	0.0
1370	CX 8025	AVANCE	13-Jun	9.0	1300.0	20.4	0.0	0.0
1370	CX 8025	AVANCE	14-Jun	7.0	1400.0	20.4	0.1	0.0
1370	CX 8025	AVANCE	15-Jun	8.0	1600.0	20.4	0.0	0.0
1370	CX 8025	AVANCE	16-Jun	7.0	1700.0	20.4	0.0	0.0
1370	CX 8025	AVANCE	17-Jun	9.0	1500.0	20.4	0.0	0.0
1370	CX 8025	AVANCE	18-Jun	6.0	1200.0	20.4	0.0	0.0
1370	CX 8025	AVANCE	19-Jun	8.0	1100.0	20.4	0.0	1.0
1370	CX 8025	AVANCE	20-Jun	13.0	700.0	20.4	0.1	0.0
1370	CX 8025	AVANCE	21-Jun	11.0	1300.0	20.3	0.0	0.0
1370	CX 8025	AVANCE	22-Jun	8.0	1000.0	20.4	0.1	0.0
1370	CX 8025	AVANCE	23-Jun	1.0	1200.0	20.4	0.1	1.0
1370	CX 8025	AVANCE	24-Jun	5.0	1500.0	20.4	0.0	0.0
1370	CX 8025	AVANCE	25-Jun	6.0	1300.0	20.4	0.0	1.0

NIVEL	LABOR	ETAPA	FECHA	CO p.p.m.	CO2 p.p.m.	O2 %	H2S p.p.m.	NO2 p.p.m.
1370	CX 8025	AVANCE	26-Jun	4.0	1200.0	20.4	0.0	0.0
1370	CX 8025	AVANCE	27-Jun	6.0	900.0	20.6	0.1	0.0
1370	CX 8025	AVANCE	28-Jun	8.0	1100.0	20.6	0.2	0.0
1370	CX 8025	AVANCE	29-Jun	6.0	1700.0	20.4	0.0	0.0
1370	CX 8025	AVANCE	30-Jun	5.0	1200.0	20.4	0.1	1.0
1370	CX 8025	AVANCE	1-Jul	7.0	1100.0	20.4	0.1	0.0
1370	CX 8025	AVANCE	2-Jul	4.0	1300.0	20.6	0.0	0.0
1370	CX 8025	AVANCE	3-Jul	7.0	1600.0	20.4	0.0	0.0
1370	CX 8025	AVANCE	4-Jul	12.0	1400.0	20.4	0.0	0.0
1370	CX 8025	AVANCE	5-Jul	9.0	1100.0	20.4	0.1	0.0
1370	CX 8025	AVANCE	6-Jul	11.0	1700.0	20.4	0.0	0.0
1370	CX 8025	AVANCE	7-Jul	8.0	1200.0	20.4	0.0	0.0
1370	CX 8025	AVANCE	8-Jul	1.0	1200.0	20.6	0.0	0.0
1370	CX 8025	AVANCE	9-Jul	5.0	1600.0	20.6	0.1	0.0
1370	CX 8025	AVANCE	10-Jul	9.0	1300.0	20.6	0.0	0.0
1370	CX 8025	AVANCE	11-Jul	8.0	1100.0	20.6	0.0	0.0
1370	CX 8025	AVANCE	12-Jul	11.0	1600.0	20.4	0.1	0.0
1370	CX 8025	AVANCE	13-Jul	10.0	1500.0	20.4	0.0	0.1
1370	CX 8025	AVANCE	14-Jul	7.0	1700.0	20.4	0.0	0.0
1370	CX 8025	AVANCE	15-Jul	7.0	1100.0	20.4	0.0	0.0
1370	CX 8025	AVANCE	16-Jul	8.0	1300.0	20.4	0.0	0.0
1370	CX 8025	AVANCE	17-Jul	9.0	1600.0	20.4	0.0	0.0
1370	CX 8025	AVANCE	18-Jul	8.0	900.0	20.4	0.0	0.1
1370	CX 8025	AVANCE	19-Jul	8.0	1100.0	20.4	0.0	0.0
1370	CX 8025	AVANCE	20-Jul	9.0	1200.0	20.4	0.1	0.0
1370	CX 8025	AVANCE	21-Jul	6.0	1500.0	20.4	0.0	0.0

Anexo D-4

		REGISTRO DE MONITOREO DE GASES EN LAS LABORES MINERAS				UNIDAD MINERA SAN VICENTE		
NIVEL	LABOR	ETAPA	FECHA	CO p.p.m.	CO2 p.p.m.	O2 %	H2S p.p.m.	NO2 p.p.m.
1370	CA DDH 8170	EXPLORACIÓN	2-Jun	8.0	1700.0	20.4	3.0	0.0
1370	CA DDH 8170	EXPLORACIÓN	3-Jun	7.0	1200.0	20.4	3.0	0.0
1370	CA DDH 8170	EXPLORACIÓN	4-Jun	9.0	1400.0	20.4	2.0	0.0
1370	CA DDH 8170	EXPLORACIÓN	5-Jun	5.0	1600.0	20.4	2.0	0.1
1370	CA DDH 8170	EXPLORACIÓN	6-Jun	8.0	1100.0	20.4	3.0	0.0
1370	CA DDH 8170	EXPLORACIÓN	7-Jun	5.0	800.0	20.4	2.0	0.1
1370	CA DDH 8170	EXPLORACIÓN	8-Jun	11.0	1300.0	20.4	2.0	0.0
1370	CA DDH 8170	EXPLORACIÓN	9-Jun	10.0	500.0	20.4	2.0	0.1
1370	CA DDH 8170	EXPLORACIÓN	10-Jun	8.0	1600.0	20.4	3.0	0.1
1370	CA DDH 8170	EXPLORACIÓN	11-Jun	13.0	900.0	20.6	3.0	0.1
1370	CA DDH 8170	EXPLORACIÓN	12-Jun	10.0	1200.0	20.6	2.0	0.1
1370	CA DDH 8170	EXPLORACIÓN	13-Jun	9.0	1400.0	20.6	2.0	0.0
1370	CA DDH 8170	EXPLORACIÓN	14-Jun	7.0	1300.0	20.4	2.0	0.1
1370	CA DDH 8170	EXPLORACIÓN	15-Jun	8.0	1700.0	20.4	4.0	0.0
1370	CA DDH 8170	EXPLORACIÓN	16-Jun	9.0	1400.0	20.4	3.0	1.0
1370	CA DDH 8170	EXPLORACIÓN	17-Jun	9.0	900.0	20.4	3.0	0.0
1370	CA DDH 8170	EXPLORACIÓN	18-Jun	6.0	1200.0	20.4	3.0	0.0
1370	CA DDH 8170	EXPLORACIÓN	19-Jun	8.0	1800.0	20.3	3.0	1.0
1370	CA DDH 8170	EXPLORACIÓN	20-Jun	13.0	2900.0	20.3	5.0	1.0
1370	CA DDH 8170	EXPLORACIÓN	21-Jun	11.0	1100.0	20.3	3.0	0.1
1370	CA DDH 8170	EXPLORACIÓN	22-Jun	4.0	1600.0	20.3	2.0	1.0
1370	CA DDH 8170	EXPLORACIÓN	23-Jun	1.0	500.0	20.3	3.0	0.0
1370	CA DDH 8170	EXPLORACIÓN	24-Jun	5.0	900.0	20.4	3.0	0.0
1370	CA DDH 8170	EXPLORACIÓN	25-Jun	9.0	1200.0	20.4	3.0	1.0

NIVEL	LABOR	ETAPA	FECHA	CO p.p.m.	CO2 p.p.m.	O2 %	H2S p.p.m.	NO2 p.p.m.
1370	CA DDH 8170	EXPLORACIÓN	26-Jun	4.0	1400.0	20.3	2.0	0.0
1370	CA DDH 8170	EXPLORACIÓN	27-Jun	7.0	1500.0	20.6	2.0	0.0
1370	CA DDH 8170	EXPLORACIÓN	28-Jun	8.0	1800.0	20.8	1.0	0.0
1370	CA DDH 8170	EXPLORACIÓN	29-Jun	6.0	1300.0	20.4	3.0	0.1
1370	CA DDH 8170	EXPLORACIÓN	30-Jun	5.0	1400.0	20.8	3.0	0.0
1370	CA DDH 8170	EXPLORACIÓN	1-Jul	6.0	1300.0	20.4	3.0	0.0
1370	CA DDH 8170	EXPLORACIÓN	2-Jul	4.0	1700.0	20.3	4.0	0.1
1370	CA DDH 8170	EXPLORACIÓN	3-Jul	6.0	1400.0	20.4	4.0	0.1
1370	CA DDH 8170	EXPLORACIÓN	4-Jul	12.0	1800.0	20.4	3.0	0.0
1370	CA DDH 8170	EXPLORACIÓN	5-Jul	8.0	1500.0	20.4	4.0	0.0
1370	CA DDH 8170	EXPLORACIÓN	6-Jul	11.0	1300.0	20.4	3.0	0.0
1370	CA DDH 8170	EXPLORACIÓN	7-Jul	9.0	1100.0	20.4	3.0	0.0
1370	CA DDH 8170	EXPLORACIÓN	8-Jul	1.0	500.0	20.3	3.0	0.0
1370	CA DDH 8170	EXPLORACIÓN	9-Jul	4.0	900.0	20.3	4.0	0.0
1370	CA DDH 8170	EXPLORACIÓN	10-Jul	9.0	1300.0	20.3	3.0	1.0
1370	CA DDH 8170	EXPLORACIÓN	11-Jul	8.0	1500.0	20.3	3.0	0.1
1370	CA DDH 8170	EXPLORACIÓN	12-Jul	11.0	1600.0	20.8	3.0	0.0
1370	CA DDH 8170	EXPLORACIÓN	13-Jul	9.0	1100.0	20.3	4.0	0.0
1370	CA DDH 8170	EXPLORACIÓN	14-Jul	7.0	1200.0	20.3	4.0	0.0
1370	CA DDH 8170	EXPLORACIÓN	15-Jul	6.0	1600.0	20.3	3.0	0.1
1370	CA DDH 8170	EXPLORACIÓN	16-Jul	8.0	1300.0	20.4	3.0	0.0
1370	CA DDH 8170	EXPLORACIÓN	17-Jul	7.0	1000.0	20.4	4.0	0.1
1370	CA DDH 8170	EXPLORACIÓN	18-Jul	4.0	1300.0	20.4	3.0	0.1
1370	CA DDH 8170	EXPLORACIÓN	19-Jul	6.0	1500.0	20.4	3.0	0.0
1370	CA DDH 8170	EXPLORACIÓN	20-Jul	6.0	1700.0	20.4	4.0	0.0
1370	CA DDH 8170	EXPLORACIÓN	21-Jul	4.0	1900.0	20.4	3.0	0.1

ANEXO E

EVIDENCIAS

E-1) Instalación de ventilador extractor 30 KCFM CA 084 NW, Rb 8025

E-2) Medición de monitoreo de gases 23 de junio, CA 8170

E-3) Medición de monitoreo de gases 28 de junio, CA 8170

E-4) Medición de velocidad de aire, CA DDH 8170

Anexo E-1



Anexo E-2



Anexo E-3



Anexo E-4

