

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas

**DISEÑO DE UN NUEVO SISTEMA DE
VENTILACIÓN PARA LA DILUCIÓN DE
GASES NOCIVOS EN LA MINA
CRUZ DE ORO, PUNO**

TESIS

Presentada por:

Bach. Jander Marrufo Gavidia

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO DE MINAS

TACNA – PERÚ

2023

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas

**DISEÑO DE UN NUEVO SISTEMA DE
VENTILACIÓN PARA LA DILUCIÓN DE
GASES NOCIVOS EN LA MINA
CRUZ DE ORO, PUNO**

Tesis sustentada y aprobada el 19 de junio del 2023, estando integrado el jurado calificador por:

Presidente


.....
Dr. Dante Ulises Morales Cabrera

Secretario


.....
Dr. Jorge José Segura Dávila

Vocal


.....
Dr. Carlos Huisa Cori

Asesor


.....
Dr. Julio Vargas Paniagua

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, Dr. JULIO VARGAS PANIAGUA en mi condición de asesor acreditado por la Resolución de Facultad N° 06262-2020-FAIN/UNJBG de la tesis titulado, Diseño de un nuevo sistema de ventilación para la dilución de gases nocivos en la mina Cruz de oro, Puno presentado por el Bachiller Jander Marrufo Gavidia, para optar el título profesional de Ingeniero de Minas.

Habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y de similitud de trabajos de investigación y producción intelectual, considerando que según la revisión, evaluación y análisis realizado a través del software de similitud textual Turnitin, cuenta con el nivel de similitud permitido cuyo porcentaje es 9 %. Por lo que CERTIFICO LA SIMILARIDAD de la tesis, está de acuerdo al nivel PERMITIDO, para continuar con los trámites correspondientes y para su publicación en el repositorio Institucional.

Se emite el presente certificado con fines de continuar con los trámites respectivos para su obtención del título profesional.


DR. JULIO VARGAS PANIAGUA
DNI. N° 00489063
ASESOR



DEDICATORIA

Con todo mi amor a mis padres José Alejandro Marrufo Vásquez y María Angelica Gavidia Tarrillo; un cariño especial por todo lo brindado y a quien considero mi segunda madre, mi abuelita Luzdina Vásquez Vásquez, quienes me dieron todo su esfuerzo y creyeron en mí, en mi capacidad para seguir adelante y a ser siempre perseverante en los objetivos que me trace.

AGRADECIMIENTO

 Mi gratitud infinita a la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Facultad de Ingeniería de Minas, personal docente y administrativo, quienes me enseñaron y prepararon para crecer en lo profesional y en la vida.

CONTENIDO

DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO	V
RESUMEN	XVIII
ABSTRACT	XIX
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
1.1. Descripción del problema	3
1.2. Formulación del problema	5
1.2.1. Problema general	5
1.2.2. Problemas específicos	5
1.3. Justificación e importancia	5
1.4. Alcances y limitaciones	6
1.5. Objetivos	6
1.5.1. Objetivo general	6
1.5.2. Objetivos específicos	7
1.6. Hipótesis	7
1.6.1. Hipótesis general	7
1.6.2. Hipótesis específico	7

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio	9
2.2. Base teórica	11
2.2.1. El aire	11
2.2.1.1. La respiración humana	12
2.2.1.2. Cantidad de aire requerido	13
2.2.1.3. Deficiencia del oxígeno	13
2.2.1.4. Característica del oxígeno	14
2.2.2. Polvos en mina	15
2.2.2.1. Efectos ocasionados por el polvo	15
2.2.3. Gases presentes en mina	15
2.2.3.1. Tipos de gases	16
2.2.4. Propiedades físicas del aire	21
2.2.4.1. Densidad del aire	21
2.2.4.2. Peso específico (γ)	22
2.2.4.3. Volumen específico	22
2.2.4.4. La presión	23
2.2.4.5. Temperatura (T)	24
2.2.4.6. Humedad de aire	25
2.2.4.7. Caudal de aire	26
2.2.5. Requerimiento de aire total	26

2.2.6.	Ventilación	31
2.2.7.	Tipos de ventilación	32
2.2.7.1.	Ventilación natural	32
2.2.7.2.	Ventilación auxiliar	33
2.2.8.	Clasificación de los ventiladores	34
2.2.8.1.	Según su tipo	34
2.2.9.	Circuitos básicos en ventilación de minas	36
2.2.9.1.	Circuito en serie	36
2.2.9.2.	Circuito en paralelo	38
2.2.9.3.	Circuito en diagonal	43
2.2.10.	Tipos de ventilación	43
2.2.10.1.	Ventilación impelente	43
2.2.10.2.	Ventilación aspirante	44
2.2.10.3.	Ventilación mixta	45
2.2.11.	Sistemas de ventilación secundaria	45
2.2.11.1.	Difusión	45
2.2.11.2.	Mediante tabiques longitudinales	46
2.2.11.3.	Mediante labores paralelos	46
2.2.12.	Elección de los factores de fricción y choque	46
2.2.13.	Ley de resistencia	49
2.2.14.	Pérdidas por choque	50

2.2.15. Software ventsim visual 3D	51
2.2.15.1. Herramientas del ventsim visual 3D	51
2.2.15.2. Ventana de trabajo:	52
2.2.15.3. Como construir un modelo de ventilación:	53
2.2.15.4. Pasos a seguir para un estudio en ventsim:	55
2.3. Definición de términos	56
2.3.1. Diseño de la ventilación en mina	56
2.3.2. Incendios y generación de humos, gases y calor	56
CAPÍTULO III	
MARCO METODOLÓGICO	
3.1. Caracterización del diseño de investigación	58
3.2. Población y muestra	58
3.2.1. Población	58
3.2.2. Muestra	59
3.3. Operacionalización de variables	59
3.3.1. Variable independiente (V.I.)	59
3.3.2. Variable dependiente (V.D.)	59
3.4. Técnicas e instrumentos para recolección de datos	60
3.4.1. Técnicas	60
3.4.2. Instrumentos	61
3.4.3. Técnicas para el desarrollo de la información	62
3.4.4. Método de barrido	62

3.5. Métodos de procesamiento y análisis de datos	63
CAPÍTULO IV	
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
4.1. Mapeo de ventilación	64
4.2. Diagnóstico inicial del sistema de ventilación de proyecto	64
4.2.1. Medición de área de labores	64
4.2.2. Medición de velocidad de aire	65
4.2.3. Medición de temperatura y humedad relativa	66
4.2.4. Cálculo de caudal de aire	67
4.2.5. Ingresos y salidas de aire	68
4.2.6. Ubicación de ventiladores por labor	70
4.2.7. Monitoreo inicial de gases	71
4.2.8. Requerimiento de caudal de aire	73
4.3. Diseño del nuevo sistema de ventilación	79
4.3.1. Diseño del sistema de ventilación usando el software ventsim visual.	79
4.3.2. Parámetros ambientales tomados en la mina	80
4.3.3. Gradiente térmico	81
4.3.4. Sistema de ventilación insertado en software ventsim	82
4.3.5. Análisis y evaluación del nuevo diseño del sistema de ventilación	83
4.3.6. Análisis y caracterización de los ventiladores	106

4.3.7. Resultados del proyecto	111
4.3.8. Discusión de resultados	124
CONCLUSIONES	130
RECOMENDACIONES	132
BIBLIOGRAFÍA	133
ANEXOS	133

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición del aire seco	11
Tabla 2. Inhalación de oxígeno y aire de la respiración humana	12
Tabla 3. Evaluación de flujo de oxígeno	13
Tabla 4. Efectos de la deficiencia del oxígeno	14
Tabla 5. Efectos fisiológicos de los humos nitrosos	18
Tabla 6. Efectos fisiológicos del H ₂ S	19
Tabla 7. Efectos fisiológicos del SO ₂	20
Tabla 8. Contaminantes medibles en la mina Cruz de Oro	21
Tabla 9. Para respiración del personal	28
Tabla 10. Factor de producción de acuerdo al consumo de madera	29
Tabla 11. Velocidad mínima	30
Tabla 12. Límites máximos permisibles	31
Tabla 13. Valores de factores de fricción K	47
Tabla 14. Factores de pérdida de carga	48
Tabla 15. Operacionalización de variables	60
Tabla 16. Datos de medición de velocidad de aire	65
Tabla 17. Medición promedio de temperatura y humedad relativa por niveles	67
Tabla 18. Datos de levantamiento y procesamiento inicial de ventilación	69
Tabla 19. Inventario inicial de ventiladores mina Cruz de Oro	70

Tabla 20. Monitoreo inicial de gases Nv. 4475	71
Tabla 21. Monitoreo inicial de gases Nv. 4460	72
Tabla 22. Personal que labora en interior mina	73
Tabla 23. Relación de equipos que laboran en interior mina	74
Tabla 24. Factor de producción de acuerdo al consumo de madera	76
Tabla 25. Caudal de aire total requerido	78
Tabla 26. Balance de cobertura inicial	79
Tabla 27. Parámetros ambientales tomados en mina Cruz de Oro	80
Tabla 28. Condiciones ambientales	81
Tabla 29. Velocidades menores a 20m/min en el nivel 4475 y 4460	84
Tabla 30. Análisis de velocidades con labores conectadas a superficie	92
Tabla 31. Análisis de velocidades con labores conectadas a superficie	94
Tabla 32. Monitoreo de gases en labores de avance y producción (a)	98
Tabla 33. Monitoreo de gases en labores de avance y producción (b)	99
Tabla 34. Análisis de velocidades con labores sin conexión a superficie	103
Tabla 35. Análisis de velocidades con labores sin conexión a superficie	104
Tabla 36. Inventario final de ventiladores mina Cruz de Oro	110
Tabla 37. Balance de cobertura final	112
Tabla 38. Balance de ingreso de aire mina Cruz de Oro	113
Tabla 39. Balance de salida de aire mina Cruz de Oro	114
Tabla 40. Monitoreo inicial de gases en labores de recirculación	119

Tabla 41. Monitoreo de gases en labores de recirculación después del
nuevo diseño de ventilación

122

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ventilador centrífugo	35
Figura 2. Ventilador axial	36
Figura 3. Sistema de ventilación en serie	37
Figura 4. Diagrama de circuito en paralelo (a)	40
Figura 5. Diagrama de circuito en paralelo (b)	41
Figura 6. Diagrama de circuito en paralelo (c)	42
Figura 7. Diagrama de circuito en paralelo (d)	42
Figura 8. Sistema de ventilación en diagonal	43
Figura 9. Ventilación impelente	44
Figura 10. Ventilación aspirante	44
Figura 11. Ventilación mixta	45
Figura 12. Cargos equivalentes para fuentes de pérdidas por choque	50
Figura 13. Plano de edición ventsim visual	52
Figura 14. Ventana principal de ventsim visual	53
Figura 15. Red cerrada en ventsim visual	54
Figura 16. Red abierta en ventsim visual	55
Figura 17. Trazado para la medición de velocidad de aire	66
Figura 18. Labores de estudio modelado en ventsim visual	82
Figura 19. Escenario de preparación de galería superior e inferior	85
Figura 20. Escenario de perforación de taladros largos	86

Figura 21. Escenario de labores conectadas de nivel a nivel	87
Figura 22. Escenario de labores conectadas a superficie en limpieza de mineral	88
Figura 23. Parámetros ambientales ingresados al ventsim	89
Figura 24. Importación de datos de minesight al ventsim	89
Figura 25. Labores mina Cruz de Oro configurado en sólido	90
Figura 26. Labores de preparación conectadas a superficie	91
Figura 27. Labores de explotación conectadas a superficie	93
Figura 28. Escenario de preparación de galerías nivel superior e Inferior	95
Figura 29. Escenario de galerías sin conexión a superficie	96
Figura 30. Escenario de galerías sin conexión a superficie y perforación de taladros largos	97
Figura 31. Escenario de galerías sin conexión a superficie, limpieza de mineral	98
Figura 32. Cuadro comparativo de monitoreo de gases monóxido de carbono (CO)	100
Figura 33. Cuadro comparativo de monitoreo de gases oxígeno (O)	101
Figura 34. Simulación del nuevo diseño del sistema de ventilación	102
Figura 35. Simulación del nuevo diseño del sistema de ventilación	104
Figura 36. Cuadro comparativo de velocidad de aire antes y después	105

Figura 37. Simulación de ventilador de 60 Kcfm	107
Figura 38. Curva característica del ventilador de 60Kcfm	107
Figura 39. Simulación de ventilador de 30Kcfm	108
Figura 40. Curva característica del ventilador de 30Kcfm	109
Figura 41. Balance general de aire mina cruz de oro	115
Figura 42. Análisis de recirculación inicial nivel 4475	117
Figura 43. Análisis de recirculación inicial nivel 4460	118
Figura 44. Distrito simple de recirculación	121
Figura 45. Análisis de recirculación con el nuevo diseño del sistema de ventilación	123
Figura 46. Implementación de tapones herméticos	125
Figura 47. Extracción de aire viciado	126
Figura 48. Monitoreo de gases en el ambiente mina Cruz de Oro (a)	128
Figura 49. Monitoreo de gases en el ambiente mina Cruz de Oro (b)	129

RESUMEN

En la presente investigación la meta principal es determinar un nuevo sistema de ventilación y optimizar la dilución de gases nocivos en la mina cruz de oro, aplicando el software ventsim, estudio sustentado con la metodología descriptiva y aplicada. Para realizar la presente investigación se determinó el diagnóstico inicial del sistema de ventilación actual, alcanzando un ingreso en 165 175 cfm de caudal de aire, con una demanda de 178 629 cfm de caudal de aire, con una cobertura al 92,5 %; como consecuencia la concentración de gases en nuestras labores llegaba a CO: 29 ppm, el oxígeno en el ambiente de trabajo llegó hasta 19,37 % en promedio en el nivel 4460 existiendo recirculación de aire usado. Con el nuevo diseño del sistema de ventilación aplicando el programa ventsim visual, se determinó el caudal de ingreso de 272 561 cfm, obteniendo una cobertura del 152,6 %; así mismo se realizó el análisis de recirculación de aire usando el software ventsim, obteniendo una concentración de CO: 9,67 ppm y oxígeno: 20,7 % en el nivel 4460 estando dentro de los límites máximos permisibles según el DS 024-2016-EM y modificatoria.

Palabras clave: Dilución de gases, recirculación de aire usado, diseño del nuevo sistema de ventilación mina cruz de oro.

ABSTRACT

In the present investigation, the main goal is to determine a new ventilation system and optimize the dilution of harmful gases in the Cruz de Oro mine, applying the ventsim software, a study supported by descriptive and applicative methodology. To carry out the present investigation, the initial diagnosis of the current ventilation system was extinguished, obtaining an income of 165 175 cfm of air flow, with a requirement of 178 629 cfm of air flow, with a coverage of 92,5 %; As a consequence, the concentration of gases in our works reached CO: 29 ppm, oxygen in the work environment reached 19,37 % on average at level 4460, with used air recirculation. With the new design of the ventilation system applying the ventsim visual software, an inlet flow of 272,561 cfm will be extended, obtaining a coverage of 152,6 %; likewise, the air recirculation analysis was carried out using the ventsim software, obtaining a concentration of CO: 9,67 ppm and oxygen: 20,7 % at level 4460, being within the maximum permissible limits according to DS 024-2016- EM and modifying.

Keywords: Gas dilution, used air recirculation, desing of the new gold cross mine ventilation system.

INTRODUCCIÓN

La mina Cruz de Oro, se ubica a una altura de 4500 m.s.n.m en el distrito de Quiaca, provincia de Sandia, departamento de Puno, aquí se realizan trabajos de explotación minera bajo el método de taladros largos, se cuenta con 45 trabajadores y 15 equipos, dicho trabajo hace referencia al diseño de un nuevo sistema de ventilación para la dilución de gases nocivos en mina Cruz de Oro, cumpliendo los requerimientos establecidos por el DS 024-2016-EM y su Modificatoria DS 023-2017-EM.

El trabajo de investigación está compuesto por cuatro capítulos, los mismos que doy a conocer de la siguiente manera:

En el capítulo I, se desarrolla como el problema de estudio está vinculado con la realidad sobre los efectos que causan a los colaboradores, equipos y el proceso operativo en mina Cruz de Oro, problemas generales y específicos, justificaciones, limitaciones y viabilidad del trabajo.

En el capítulo II, se establece el marco teórico, se plantea de acuerdo a estudios científicos sobre conocimientos y aplicación en la ventilación de minas esto con el propósito único de brindar mejor calidad de aire en las áreas de trabajo de la mina.

En el capítulo III, se describe la metodología desarrollada en nuestro trabajo, el diseño de investigación, tipo, población y muestra, además se determinan las variables independientes y dependientes, técnicas e instrumentos para la recolección de datos, procesamiento de la información, describiendo la experiencia en campo como el método del barrido usado como técnica básica en los trabajos realizados.

En el capítulo IV, se presentan los procedimientos y resultados del diagnóstico inicial, se identifica los ingresos y salidas de aire, el requerimiento de caudal de aire, se muestra el diseño de los resultados que se obtienen haciendo un análisis con el software ventsim visual en la simulación y modelamiento, determinando un nuevo sistema de ventilación optimizando la concentración de gases nocivos en mina Cruz de Oro.

Finalmente, se realizan las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

La ventilación conforme avanza el tiempo conlleva a diferentes cambios evolutivos, y se hace este estudio con el fin de conseguir el mejoramiento de aire que pasa entre el laboreo de la mina, por lo que es esencial contar con un entorno sin riesgo, sano y seguro en nuestros colaboradores, por esta razón, se requiere de un estudio minucioso del sistema de ventilación que permita que los trabajadores realicen sus labores de manera segura.

Existen razones que justifiquen el ingreso del aire y así garantizar con este insumo durante las labores mineras como: asegurar el oxígeno esencial para la subsistencia en nuestros colaboradores, eliminar contaminantes generados por tronaduras con explosivos, minimizar la acumulación de polución en las labores y facilitar del aire requerido, creando un ambiente con condiciones seguras para los trabajadores, debido al aumento de equipos diésel en minería. En mina Cruz de Oro, el

método de explotación es por taladros largos en sus dos niveles, teniendo un ingreso de 165 175 CFM de aire, y el requerimiento es de 178 629 CFM, obteniendo así el 92,5 % del requerido por las operaciones en mina, no cumpliendo lo establecido por la normativa legal DS. 024-2016-EM y su modificatoria DS. 023-2017-EM.

En mina Cruz de Oro, no tiene un adecuado circuito de ventilación, lo que provoca la recirculación del aire, afectando el avance de las labores y posteriores paralizaciones por acolchonamiento de gases nocivos, el oxígeno llega con un promedio de 19,6 %, y el monóxido de carbono a 32,5 ppm, estando el oxígeno a límite y el monóxido de carbono fuera de lo que establece la normativa legal DS.024-2016-EM y su modificatoria DS. 023-2017-EM.

Es importante contar con un nuevo sistema de ventilación, lo que permitirá perfeccionar el servicio, la condición de vida de los trabajadores, mejorar la producción y así dar cumplimiento a los límites máximos permisibles según normativa legal DS. 024-2016-EM y su modificatoria DS. 023-2017-EM.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuál es el nuevo diseño del sistema de ventilación para la dilución de gases nocivos en la mina Cruz de Oro?

1.2.2. Problemas específicos

1.3. Justificación e importancia

La presente investigación realizado en mina Cruz de Oro, con referencia al nuevo diseño del sistema de ventilación para la mitigación de gases nocivos se justifica, que de acuerdo a los cálculos se logra encontrar solución a la problemática que existe, diseñando el nuevo sistema de ventilación en mención, cumpliendo las normativas legales y así nos permitirá ejecutar las operaciones mineras sin riesgos.

Por último, se justifica, porque la información y contenido será de apoyo y refuerzo a los conocimientos de los alumnos y docentes de la escuela de Ingeniería de Minas y afines.

1.4. Alcances y limitaciones

Este trabajo de investigación, tiene como alcance llevar suficiente aire limpio hacia las labores con un nuevo diseño de ventilación, apoyándonos con el software ventsim visual, y cumpliendo los estándares y reglamentos de seguridad y salud ocupacional en minería.

Las investigaciones de campo han estado limitadas a un presupuesto ajustado, así como:

- Limitación por tiempo, ya que al contar con plazos para cumplir con el desarrollo de la investigación se debe reconocer que el área contaba con personal muy ajustado, las tareas y programas del día a día hacían que el programa se retrase.
- Informaciones técnicas de la mina, esto debido a que se necesitaba del área de Planeamiento planos actualizados y demás.
- Disposición de instrumentos de medición de campo, los cuales tenían que ser supervisados para su utilización en los trabajos de investigación

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Determinar un nuevo sistema de ventilación para optimizar la dilución de gases nocivos en la mina Cruz de Oro.

1.5.2. Objetivos específicos

- Diagnosticar el sistema de ventilación actual de los distintos niveles de la mina Cruz de Oro.
- Reducir la recirculación de aire viciado en los diferentes niveles de la mina Cruz de Oro.
- Determinar la mitigación de los gases nocivos en los distintos niveles de la mina Cruz de Oro.

1.6. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis general

Con el nuevo diseño del sistema de ventilación en los distintos niveles, permitirá disipar la presencia de gases nocivos en la mina Cruz de Oro. El diseño cuenta con el apoyo de la empresa Cori Riqueza SAC.

1.6.2. Hipótesis específica

- La evaluación actual de las zonas críticas permitirá diseñar un nuevo sistema de ventilación en los distintos niveles en mina Cruz de Oro.

- Con la instalación de un nuevo sistema de ventilación se reduce la recirculación de aire viciado en los diferentes niveles de la mina Cruz de Oro.
- Con el nuevo diseño del sistema de ventilación se logrará disipar los gases nocivos en la mina Cruz de Oro.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio

A mediados del siglo XIX se iniciaron a desarrollar ventiladores mecánicos, dichos ventiladores antiguos eran únicamente centrífugos de amplios diámetros y velocidades limitadas, después de la segunda guerra mundial comenzó a desarrollarse ventiladores de flujo axial.

Para realizar la presente investigación recurrimos a los siguientes antecedentes:

Vargas, O. (2014), en su tesis titulado "*Diseño del circuito en un sistema de ventilación natural de la zona de Gisela – Mina Esperanza de Caravelí-Compañía minera Titán del Perú S.R.L.*", en sus conclusiones indica; "Con el diseño del circuito de flujo de aire fresco, el caudal de ingreso se incrementó de 372,60 m³/min a 453 m³/min se tiene un saldo favorable de 37 m³/min, equivalente a una cobertura de 108,09 %, que implica mejor aprovechamiento del flujo de aire".

Enríquez, R. (2011), en su tesis titulado "*Evaluación del Sistema de Ventilación de la Mina San Vicente – Compañía Minera San Ignacio de Morococha, aplicando el software Ventsim 3.9*", en sus conclusiones indica; "Durante la evaluación del Sistema de Ventilación, es importante reducir al mínimo cualquier cambio en el sistema de ventilación, reparar puertas o tapones durante el estudio podría arrojar resultados confusos".

Raico (2019), en su tesis "*Evaluación y Optimización del Sistema de Ventilación del Túnel de Exploración Chaquicocha Nivel 3750 – Yanacocha, 2018*" menciona, "El sistema de ventilación utilizado para la ejecución del proyecto ha evidenciado ciertas deficiencias a medida que aumenta el desarrollo de la excavación subterránea, en cuanto a caudal de aire y a las condiciones atmosféricas laborales de los trabajadores. El objetivo principal es evaluar dicho sistema y realizar una optimización".

Alejandro G. (2010), en su tesis "Recirculación Controlada en Minería Subterránea" en su análisis indica, el estudio hecho a la fecha de acuerdo a la recirculación controlada de aire, abarca casi todos los conceptos y situaciones posibles de ventilación más allá de los alcances de esta memoria, realizándose por ejemplo importantes avances en el campo de la investigación de fenómenos transientes y realizando pruebas

en casi todas las situaciones en el que ésta puede tener sentido, sin embargo, existen aspectos teóricos esenciales que no han sido del todo aclarados.

2.2. Base teórica

2.2.1. El aire

“Siendo el aire un fluido básico de la vida, el cual, al pasar por una mina se altera, su composición cambia, se define como una mezcla mecánica de gases” (Yanes, 1993, p.15).

Su composición lo mostramos a continuación:

Tabla 1
Composición de aire seco

Ítem	Gases componentes	% en volumen	% en peso
1	Nitrógeno – N ₂	78,09	75,53
2	Oxígeno – O ₂	20,95	23,14
3	Anhídrido Carbónico – CO ₂	0,03	0,046
4	Argón y otros	0,93	1,284

Fuente: Yanes, 1993.

2.2.1.1. La respiración humana

La razón primordial para proveer aire limpio y con adecuado contenido de oxígeno es la sustentación de la vida humana. Como sabemos el sistema respiratorio permite proporcionar oxígeno a la sangre y eliminar anhídrido carbónico. Este constituye una impureza que debe ser controlada y que, si bien es cierto que no es tóxica, sobre ciertas concentraciones produce graves trastornos en la vida humana (Yanes, 1993, p.16).

Tabla 2
Inhalación de oxígeno y aire de la respiración humana

Actividad	Reposo	Moderado	Muy vigorosa
Ritmo respiratorio por minuto	12 – 1	30	40
Aire inhalado por respiración $m^3/s \times 10^3$	5 – 13	46 - 59	98
Oxígeno consumido en ($m^3/s \times 10^{-6}$)	4,70	33,04	47,20
Cociente respiratorio "CR"	0,75	0,90	1,00

Fuente: MC Pherson, 1993.

2.2.1.2. Cantidad de aire requerido

Tabla 3
Evaluación de flujo de oxígeno

Contenido de oxígeno en el aire de entrada	(menos)	Oxígeno gastado en respiración	(igual)	Contenido de Oxígeno en el aire de salida
0,21 Q	-	$47,20 \cdot 10^{-6}$	=	0,195 Q

Fuente: Ventilación de Minas, 1966.

$$Q = \frac{47,20 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}}{(0,2095 \text{ m}^3/\text{s} - 0,195 \text{ m}^3/\text{s})}$$

$$Q = 0,003 \text{ m}^3/\text{s}$$

2.2.1.3. Deficiencia del oxígeno

La calidad de los gases de mina está relacionada con la carencia de oxígeno el cual estaría originado por:

- Inclusión de un gas diluyente
- Retiro paulatino del oxígeno
- Una mezcla de ambos procesos

2.2.1.4. Característica del oxígeno

No tiene color ni olor (en estado líquido y sólido adquiere una coloración azul pálido). Los humanos para realizar con mayor facilidad sus actividades el aire deben contener en promedio 21 % de oxígeno, proporción promedio en nuestro ambiente a nivel del mar. A continuación, mostramos los efectos del oxígeno:

Tabla 4
Efectos de la deficiencia del oxígeno

Efectos de la deficiencia de oxígeno	
Contenido de oxígeno	Efectos
17 %	Respiración rápida y profunda. Equivale 2500 m.s.n.m.
15 %	Vértigo, zumbido en oídos, aceleración latidos.
13 %	Pérdida de conocimiento en exposición prolongada
9 %	Desmayo e inconsciencia.
7 %	Peligro de muerte. Equivale a 8800 m.s.n.m.
6 %	Movimientos convulsivos, muerte.

Fuente: MC Pherson, 1986.

2.2.2. Polvos en mina

El polvo es muy característico su presencia dentro de las labores subterráneas de una mina, que se caracteriza por estar compuesto de partículas que se encuentran en el aire. Cuando el polvo se encuentra en el aire, estas partículas permanecen largo tiempo sin caer al piso principalmente las partículas de tamaño menores a 5 micras, dependiendo de sus propiedades, como la densidad, composición, humedad, entre otros.

2.2.2.1. Efectos ocasionados por el polvo

Las concentraciones de este son consecuencia de las operaciones mineras. La acumulación de sílice en porcentajes demasiado altos es dañina para la salud de las personas ocasionando una afección a la que se le conoce como "Neumoconiosis". En este caso la preocupación pasa por el contenido de sílice en el polvo, por consiguiente, la afección la denominamos "*Silicosis*".

2.2.3. Gases presentes en mina

En minería el nacimiento de los gases que se dan con mayor frecuencia en estos ambientes se origina por lo siguiente:

- Gases de estratos: “El más común es el gas grisú o metano, el cual se encuentra principalmente en yacimientos de carbón, en donde se libera de 0,6 a 1,2 m³/min por m² de superficie expuesta” (Yanes, 1993, p.20).
- Gases de voladura: “Los gases provenientes de las voladuras permiten distinguir el tipo de explosivo utilizado, por lo que los fabricantes deben informar la cantidad de gases por kilogramo de explosivo” (Yanes, 1993, p.20).

2.2.3.1. Tipos de gases

Nitrógeno (N₂)

“Es un gas inodoro, incoloro e insípido, de peso específico 0,97; levemente mas ligero que el aire, químicamente inerte. Cuando se respira asfixia al ser humano muy parecido como lo hace el agua” (Yanes, 1993, p.22).

Anhídrido carbónico (CO₂)

Gas que no tiene color ni olor, además gusto levemente ácido cuando se encuentra en concentraciones altas, su peso específico es de 1,53 Kg/m³. El dióxido de carbono también llamado, estimula la respiración, este compuesto es normalmente utilizado en la industria para

la fabricación de extinguidores, ya que es un gas inerte que no mantiene la combustión.

Monóxido de carbono (CO)

Es el gas causante de más del 90 % de los casos fatales en los incendios de minas; su presencia en el aire no es común, se obtiene mediante la combustión incompleta de cualquier materia carbonosa que se quema, es por esta razón que se le encuentra en los gases de escape de los motores de combustión interna y los gases generados por detonación de explosivos (Yanes, 1993, p.23).

Óxidos de nitrógeno (NO_x)

Estos gases tienden a ser más pesados que el aire, cuando las concentraciones son bajas son incoloros y si la concentración es alta son pardos rojizos. Este gas relativamente es fácil de detectar por ese olor particular que se advierte en las áreas de trabajo después de realizar una voladura con explosivos.

“Un porcentaje de 0,0025 % de óxido de nitrógeno es el máximo permisible para exposiciones prolongadas; con un 0,2 % es generalmente fatal en exposiciones cortas” (Yanes, 1993, p.27).

Tabla 5
Efectos fisiológicos de los humos nitrosos

Efectos fisiológicos	Porcentaje por volumen de concentración	Concentración (ppm)
- Concentración máxima que se permite para exposiciones	0,001 – 0,004	10 – 40
- Cantidad mínima que produce irritación de la garganta	0,0062	62
- Produce tos, en cantidades mínimas	0,01	100
- Peligroso aún en exposiciones cortas (media a una hora)	0,01 – 0,015	100 – 150
- Fatal aún para exposiciones cortas	0,02 – 0,07	200 – 700

Fuente: Centro de formación técnica minera – UNI; 2000

Ácido sulfhídrico (H₂S)

Gas incoloro, tiene un olor a huevo podrido y de gusto azucarado. Su peso específico es de 1,19 Kg/m³, si la concentración de H₂S llegue al

6%, este gas arde y se transforma en una mezcla explosiva. Disoluble en agua, comparado con el monóxido de carbono (CO) este gas es más venenoso, pero su olor peculiar hace que sea menos peligroso. Irrita los conductos respiratorios y las mucosas de los ojos, además ataca el sistema nervioso.

Tabla 6
Efectos Fisiológicos del H₂S

Porcentaje por volumen de concentración	Efectos fisiológicos del H ₂ S
	Intoxicación sub-aguda
0,005 – 0,010	Síntomas leves tales como: Conjuntivitis leve (irritación de los ojos e irritación del conducto respiratorio después de una hora de exposición).
	Intoxicación sub-aguda
0,020 – 0,030	Conjuntivitis e irritación del conducto respiratorio después de una hora de exposición.
	Intoxicación sub-aguda
0,050 – 0,070	Peligrosa entre media hora y una hora de exposición.
	Posible intoxicación aguda
0,070 – 0,100	Pérdida rápida del conocimiento, cese de la respiración y muerte
	Intoxicación aguda
0,100 – 0,200 o más	Perdida del conocimiento, cese de la respiración y muerte a los pocos minutos.

Fuente: Centro de formación técnica minera – UNI; 2000

Anhídrido sulfuroso (SO₂)

Gas 2,2 veces más pesante que el aire y se diluye con facilidad en el agua, es un gas con olor a sulfuro, e incoloro. Irrita con fuerza ojo, nariz, garganta, cuando las concentraciones sobrepasan el 0,001 % ataca directamente a las mucosas y con concentraciones de 0,05 % es letal.

Tabla 7
Efectos fisiológicos del SO₂

Concentración (ppm)	Efectos fisiológicos del SO ₂
0,3 – 0,1	Perceptible por la mayoría de las personas por el sentido del gusto más que por el olor.
3,0 – 5,0	Olor característico
10,0	Acumulación máxima permisible, para una exposición prolongada.
20,0	Cantidades mínimas ocasiona tos e irritación rápida de los ojos.
50,0	Pronunciada irritación de ojos, garganta y pulmones, pero puede llegar a soportarse por varios minutos.
50,0 – 100,0	Concentración máxima permisible, para una corta exposición (media a una hora)
150,0	Extremadamente desagradable, puede soportarse varios minutos.
400,0 – 500,0	Peligrosa, inclusive para una exposición corta; imposible respirar.

Fuente: Centro de formación técnica minera – UNI; 2000

Gas grisú

Su composición está basada en metano (95 %). Entre sus otros compuestos podemos mencionar el nitrógeno, etano, anhídrido carbónico y en algunas ocasiones hidrogeno. Este gas es uno de los más inseguros y nocivos que existe en minería, explosiones de metano causaron centenares de muertes de trabajadores mineros.

Tabla 8
Contaminantes medibles en la mina Cruz de Oro

Contaminantes	Formula	Unidad	Valores TWA*	
			Min	máx.
Monóxido de carbono	CO	ppm		25
Dióxido de carbono	CO ₂	ppm		5000
Gases nitrosos	NO	ppm		5
	NO ₂	ppm		3
Oxígeno	O	%	19,5	22,5

Fuente: DS. 024-2016-EM y su modificatoria DS. 023-2017-EM.

2.2.4. Propiedades físicas del aire

2.2.4.1. Densidad del aire

También llamada densidad atmosférica, lo determinamos entre masa por unidad de volumen.

$$\rho = M/V = G/g*V \text{ (Kg. s}^2 \text{ / m}^4\text{) [1]}$$

Donde:

G : Peso (Kg).

g : Aceleración de la fuerza de la gravedad (m/s²).

M : Masa (Kg. s²/m).

V : Volumen (m³).

2.2.4.2. Peso específico (γ)

Lo expresamos entre el nexo existente, peso (G) y volumen:

$$\gamma = G/V; \text{ kg/m}^3\text{..... [2]}$$

“En la ventilación de minas se utiliza el peso específico (estándar) γ = 1,2 Kg/m³, que es el peso de 1m³ de aire, con la presión de una atmosfera de 15°C y humedad de 60 %” (Yanes, 1993, p.55).

2.2.4.3. Volumen específico

“Es el volumen V y en m³ ocupado por un Kg., de aire a presión y temperatura dadas” (Yanes, 1993, p.56).

$$V = 1/\gamma \text{ (m}^3\text{/Kg) [3]}$$

2.2.4.4. La presión

La presión de un gas se expresa en atmosferas absolutas o en atmosferas técnicas. Por una atmosfera absoluta se entiende la presión $P_0 = 1,0333 \text{ kg/cm}^2$ de una columna de 760 mm de mercurio a 0° al nivel de mar. Con el cambio de la altura sobre el nivel del mar y de la temperatura, la presión (P) cambia de la manera siguiente (Yanes, 1993, p.56).

$$\text{Log } P = \text{log } P_0 - (a/18,4 - 0,667 t) \dots\dots\dots [4]$$

Donde:

P₀ : 760 mm de mercurio, presión al nivel del mar.

a : Altura sobre el nivel del mar.

P : presión en la altura a, mm de mercurio.

T : Temperatura media del aire entre el nivel del mar y el punto considerado, grados centígrados.

La evolución en mm de agua de la Pa, manifestada en mm de Hg, lo calculamos de la siguiente manera, los mm de Hg., por su peso específico (γ) igual a $13,6 \text{ Kg/m}^3$.

Entonces la presión sería:

$$P = P_0 + \gamma H / 13,6 \text{ mm de Hg} \dots\dots\dots [5]$$

Donde:

P₀ : Presión en la superficie, mm de Hg.

13,6 : Peso específico del Hg (Kg/l).

H : Profundidad de la labor (m).

Debido al incremento en el interior, la presión aumento 9 a 10 mm de Hg., por 100 metros, así en las minas ultra profundas de oro del Rand, a 3 000 m., de profundidad, nuestra presión vendría a ser:

$$P = 760 + 9,5 (3000/100) = 1 045 \text{ mm de Hg.}, > \text{ que la presión normal en } 33,5 \text{ \%}.$$

2.2.4.5. Temperatura (T)

“La temperatura del aire se expresa, en las minas, en grados Celsius. A veces se usa también la temperatura absoluta” (Yanes, 1993, p.57).

$$T = t + 273^\circ\text{K (grados kelvin)} \dots\dots\dots [6]$$

2.2.4.6. Humedad de aire

“El aire siempre tiene cierta cantidad de agua formando una mezcla, según la ley de Dalton la presión de la mezcla será” (Yanes, 1993, p.61).

De acuerdo a la ley de Dalton:

$$P_t = P_a + P_v; \dots\dots\dots [7]$$

Donde:

P_a : Presión parcial del aire seco.

P_v : Presión parcial del vapor de agua.

La humedad del aire, se da de dos clases, humedad absoluta y humedad relativa.

Mostraremos a continuación la siguiente fórmula:

$$\phi = (P_v / P_s) * 100 \% \dots\dots\dots [8]$$

2.2.4.7. Caudal de aire

Es la cuantía suma de aire entrante hacia la mina, su trabajo es ventilar todo el circuito, lo que se pide básicamente es que el aire se mueva constantemente y sin alteraciones.

Para calcular el caudal de una sección lo podemos hallar usando la fórmula que describiremos a continuación:

$$Q = V \cdot A \dots \dots \dots [9]$$

Donde:

- A** : sección transversal (m²).
- V** : velocidad del flujo (m/min).
- Q** : Caudal en m³/min.

2.2.5. Requerimiento de aire total

Para solicitar la cantidad de aire que requeriremos en nuestra mina tomaremos en cuenta la siguiente fórmula:

$$Q_{TO} = Q_{Ti} + Q_{Fu}$$

Donde:

- Q_{TO}** : Caudal total para la operación.

Q_{Ti} : La sumatoria de caudal requerido por: a) el número de trabajadores (Q_{Tr}), b) el consumo de madera (Q_{Ma}), c) temperatura en labores de trabajo (Q_{Te}) y d) equipos con motor petrolero (Q_{Eq}).

Q_{Fu} : 15 % del Q_{Ti}.

(DS. 024-2016-EM y su modificatoria DS. 023-2017-EM, ANEXO 38).

a) Caudal requerido por el número de trabajadores

$$Q_{Tr} = F \times N \text{ (m}^3\text{/min)}$$

Donde:

Q_{Tr} : Caudal total para “n” trabajadores (m³/min);

F : Caudal mínimo por persona (ver tabla 09);

N : Número de trabajadores de la guardia más numerosa.

(DS. 024-2016-EM y su modificatoria DS. 023-2017-EM, ANEXO 38)

Tabla 9
Para respiración del personal

Altura (msnm)	Cantidad mínima	Aumento por elevación de altura	Cantidad total
0 a 1 500	3 m ³ /min	0 %	3 m ³ /min
1 500 a 3 000	3 m ³ /min	40 %	4 m ³ /min
3 000 a 4 000	3 m ³ /min	70 %	5 m ³ /min
4 000 a más	3 m ³ /min	100 %	6 m ³ /min

Fuente: DS. 024-2016-EM y su modificatoria DS. 023-2017-EM

b) Caudal requerido por el consumo de madera

$$Q_{Ma} = T \times u \text{ (m}^3\text{/min)}$$

Donde:

Q_{Ma} : Caudal requerido por toneladas de producción (m³/min);

u : Factor de producción, de acuerdo a escala establecida (ver tabla 10).

T : Producción en toneladas métricas húmedas por guardia.

(DS. 024-2016-EM y su modificatoria DS. 023-2017-EM, ANEXO 38)

Tabla 10

Factor de producción de acuerdo al consumo de madera

Consumo de madera (%)	Factor de producción (m ³ /min)
< 20	0,00
20 a 40	0,60
41 a 70	1,00
> 70	1,25

Fuente: DS. 024-2016-EM y su modificatoria DS. 023-2017-EM, ANEXO 38.

c) Caudal requerido por temperatura en las labores de trabajo

$$Q_{Te} = V_m \times A \times N \text{ (m}^3\text{/min)}$$

Donde:

Q_{Te} : Caudal por temperatura (m³/min);

V_m : Velocidad mínima;

A : Área de la labor promedio;

N : Número de niveles con temperatura mayor a 23°C, (ver tabla 11).

(DS. 024-2016-EM y su modificatoria DS. 023-2017-EM, ANEXO 38)

Tabla 11
Velocidad mínima

Temperatura seca (°C)	Velocidad mínima (m/min)
< 24	0,00
24 a 29	30,00

Fuente: DS. 024-2016-EM y su modificatoria DS. 023-2017-EM, ANEXO 38.

d) Caudal requerido por equipo con motor petrolero

$$Q_{Eq} = 3 \times HP \times D_m \times F_u \text{ (m}^3\text{/min)}$$

Donde:

Q_{Eq} : Volumen de aire necesario para la ventilación (m³/min);

HP : Capacidad efectiva de potencia (HPs);

D_m : Disponibilidad mecánica promedio de los equipos (%);

F_u : Factor de utilización promedio de los equipos (%).

(DS. 024-2016-EM y su modificatoria DS. 023-2017-EM, ANEXO 38)

e) Caudal requerido por fugas

$$Q_{Fu} = 15\% \times Q_{Ti} \text{ (m}^3\text{/min)}$$

Entonces: **Q_{Ti}**: Q_{Tr} + Q_{Te} + Q_{Ma} + Q_{Eq}

2.2.6. Ventilación

“Todo sistema de ventilación en la actividad minera, en cuanto se refiere a la calidad del aire, debe mantenerse dentro de los límites de exposición ocupacional para agentes químicos” (DS. 024-2016-EM y modificatoria DS. 023-2017-EM, ANEXO N°15).

Tabla 12
Límites máximos permisibles

Nº	Agentes Químicos (en el aire)	Límites de Exposición Ocupacional		
		TWA	STEL	Techo (C)
1	Anhídrido Sulfuroso (SO ₂)	2 ppm	5 ppm	
2	Dióxido de Carbono	5000 ppm	30000 ppm	
3	Hidrógeno (H)			5000 ppm
4	Metano (CH ₄)			5000 ppm
5	Monóxido de Carbono (CO)	25 ppm		
6	Monóxido de Nitrógeno	25 ppm		
7	Oxígeno (O ₂)	19,5 %		22,5 %
8	Ozono Trabajo Pesado	0,05 ppm		
9	Ozono Trabajo Moderado	0,08 ppm		
10	Ozono Trabajo Ligero	0,1 ppm		
11	Polvo inhalable (1)	10 mg/m ³		
12	Polvo respirable (1)	3 mg/m ³		

Fuente: DS. 024-2016-EM y su modificatoria DS. 023-2017-EM, ANEXO 15.

Los comienzos de la ventilación son por:

- ($P_2 > P_1$) dos puntos de diferente presión.
- ($T_2 > T_1$) diferencia de temperaturas.

Novitzki A. (1962); "Ventilación de Minas"

2.2.7. Tipos de ventilación

Los tipos de ventilación dentro de una mina se clasifican en ***ventilación natural*** y ***ventilación mecánica***.

Para los dos tipos de ventilación el caudal requerido lo calcularemos así:

- Conforme al número de personas.
- Conforme al polvo en suspensión.
- Conforme al aumento de temperatura.
- Conforme al consumo de explosivos.

2.2.7.1. Ventilación natural

La ventilación natural es lo que la naturaleza nos ofrece, por lo cual hasta cierta profundidad es aprovechable. Tiene que presentarse una diferencia de alturas entre los niveles de entrada y salida, produciéndose

el intercambio termodinámico y de esa manera se logra obtener un flujo de aire dinámico.

$$Q = \sqrt{\frac{5,2 H_n A^3}{K \cdot p (L + L_e)}} \quad \text{en Pa}$$

Donde:

H_n : Presión natural

K : Factor de fricción

p : perímetro de ducto de galería

L : Longitud de ducto o de galería

L_e : Longitud equivalente

2.2.7.2. Ventilación auxiliar

La ventilación auxiliar llamado también secundaria, es el caudal o flujo de aire que ingresa a las labores de la mina mediante tuberías y que se dispersa en ramales a zonas de poca circulación, o lugares que requieran recibir un flujo de aire en menores caudales. Para lograr el objetivo es necesario utilizar ventiladores portátiles (auxiliares), ubicados estratégicamente a cierta altura del piso de las labores subterráneas generando aire fresco a áreas relativamente pequeñas.

Reglas de ventiladores: Dentro de las principales debemos considerar:

- La presión solicitada es abiertamente equitativa a la longitud.
- La presión es directamente equitativa al perímetro.
- La potencia solicitada es abiertamente equitativa al cubo de la velocidad o volumen.
- La presión solicitada es abiertamente equitativa al cuadrado de la velocidad o volumen.

2.2.8. Clasificación de los ventiladores

2.2.8.1. Según su tipo

- **Radiales o centrífugos.**

El ventilador centrífugo consiste en un rotor encerrado en una envolvente de forma espiral, el aire que entra a través del eje del rotor paralelo a la flecha del ventilador, es succionado por el rotor y arrojado contra la envolvente se descarga por la salida en ángulo recto a la flecha; puede ser de entrada sencilla o doble entrada (Zitron, 2010, p.6 – 7).

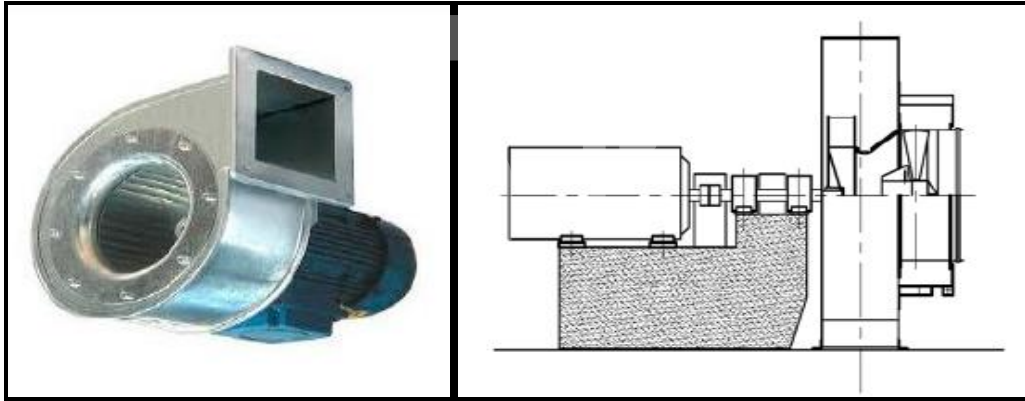


Figura 1. Ventilador centrífugo
Fuente: Zitron, 2010

- **Axial.**

El ventilador axial es de diseño aerodinámico, este tipo de ventilador consiste en un rodete alojado en una envolvente cilíndrica o carcasa. La adición de álabes - guía, detrás del rotor, convierte al ventilador turbo axial en un ventilador axial con aletas guía. Pueden en un amplio rango de volúmenes de aire, a presiones estáticas que van de bajas a moderadamente altas y es capaz de desarrollar mayores presiones estáticas que el ventilador centrífugo (Zitron, 2010, p.8 – 9).

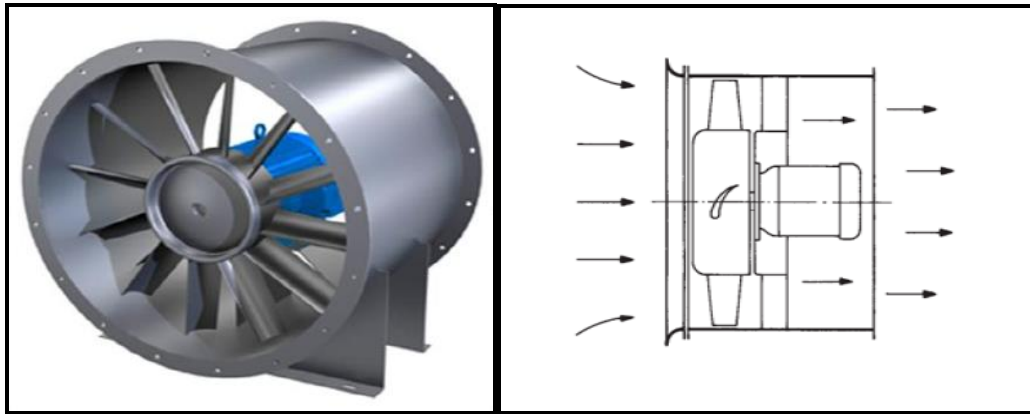


Figura 2. Ventilador axial
Fuente: Zitron, 2010

2.2.9. Circuitos básicos en ventilación de minas

En minería generalmente hallaremos las siguientes uniones de galerías:

2.2.9.1. Circuito en serie

El circuito en serie conlleva a las posteriores correlaciones: El aire que ingresa y ventila todo el sistema de laboreo en mina será la misma que saldrá de la misma, es decir:

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

La sumatoria de pérdidas o resistencias que se presentan en las labores mineras donde recorre aire, esto es:

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + \dots \dots \dots [10]$$

“La relación que hay en (P_T) y el volumen (Q_T) del flujo que viaja es igual.”
 (Jiménez, 2003).

$$P_T = RQ^2 \dots \dots \dots [11]$$

Al no haber pérdidas de aire, la cantidad de caudal del mismo se mantiene constante.

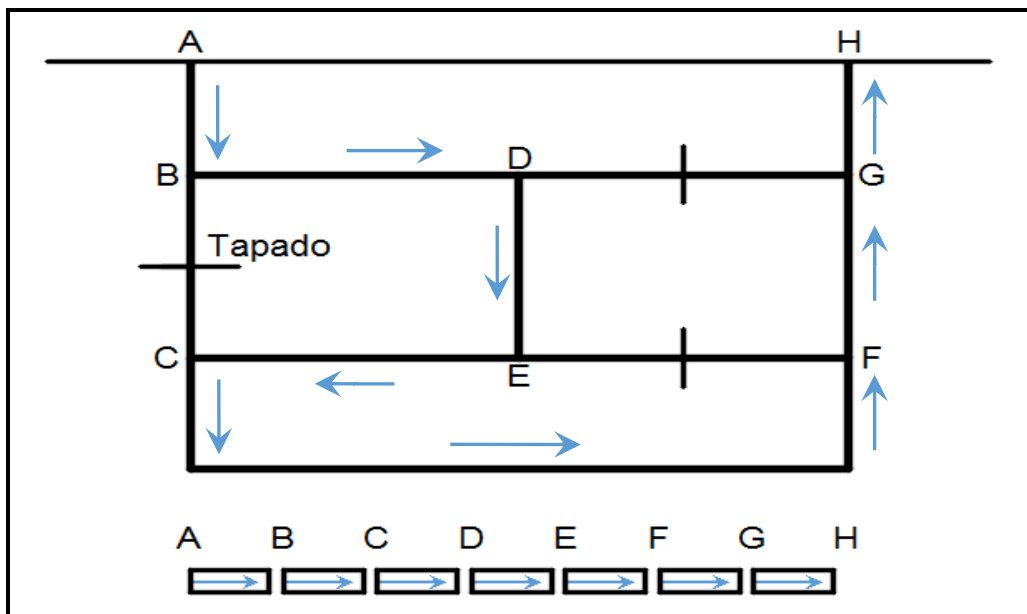


Figura 3. Sistema de ventilación en serie
 Fuente: Manuel Quevedo, Lima 2013

2.2.9.2. Circuito en paralelo

En un circuito en paralelo el volumen de aire que se mueve por cada ramal, se reparte de la siguiente forma:

- a) En este tipo de circuito las depreciaciones en cada ramificación son idénticos e idénticos a la depresión total siendo independiente a la longitud de la resistencia y cantidad de caudal.

$$H = H_1 = H_2 = H_3 = \dots = H_n$$

- b) El caudal total del aire en paralelo es igual a la sumatoria del caudal de cada ramal.

$$Q = Q_1 = Q_2 = Q_3 = \dots = Q_n$$

- c) La resistencia aerodinámica total lo podemos deducir en la fórmula siguiente.

$$1/\sqrt{R} = 1/\sqrt{R_1} + 1/\sqrt{R_2} + 1/\sqrt{R_3} + \dots + 1/\sqrt{R_n} \dots\dots\dots[12]$$

Comprobación: Conocemos que $H = R \times Q^2$, usando características básicas de las corrientes paralelas:

$$H = H_1$$

$$R \cdot Q_2 = R_1 \times Q_{12}$$

Así mismo podremos situarla de la siguiente forma:

$$Q/Q_1 = \sqrt{(R_1/R)}$$

$$Q/Q_2 = \sqrt{(R_2/R)}$$

$$Q/Q_3 = \sqrt{(R_3/R)}$$

.

.

.

$$Q/Q_n = \sqrt{(R_n/R)}$$

Sacando valor recíproco y sumando:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n / Q = (1/\sqrt{R_1} + 1/\sqrt{R_2} + 1/\sqrt{R_3} + \dots + 1/\sqrt{R_n}) \cdot \sqrt{R}$$

Sabiendo que $Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n$; y dividido por \sqrt{R} tendremos:

$$1/\sqrt{R} = 1/\sqrt{R_1} + 1/\sqrt{R_2} + 1/\sqrt{R_3} + \dots + 1/\sqrt{R_n}$$

Si se trata de dos galerías en paralelo, tendremos:

$$1/\sqrt{R} = 1/\sqrt{R1} + 1/\sqrt{R2}$$

Resolviendo:

$$R = R1 / (1 + \sqrt{R1}/R2)^2 = R2 / (1 + \sqrt{R1}/R2)^2$$

Si la resistencia de las dos galerías es igual, $R2 = R1 = Ra$:

$$R = Ra / 4$$

Si en lo probable se tiene "n" galerías en paralelo de igual resistencia:

$$R1 = R2 = \dots\dots\dots = Rn = Ra$$

$$R = Ra / n^2$$

Calculemos el reparte de caudal de aire en dos galerías paralelas:

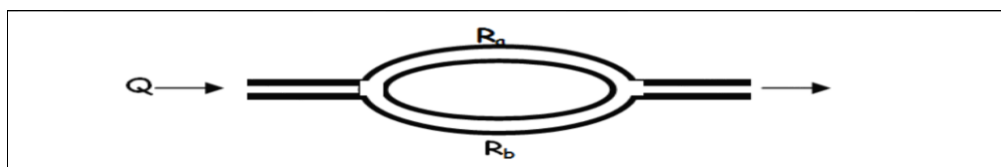


Figura 4. Diagrama de circuito en paralelo (a)
Fuente: Instituto de Ingenieros de Minas del Perú, 1989.

$$H_a = H_b$$

$$R_a * Q_a^2 = R_b * Q_b^2$$

$$Q = Q_a + Q_b$$

$$R_a * Q_a^2 = R_b * (Q - Q_a)^2$$

$$\sqrt{R_a} * Q_a = \sqrt{R_b} * (Q - Q_a)$$

$$Q = Q/1 + \sqrt{R_a/R_b}$$

$$\text{Si } R_a = R_b$$

Notemos el gráfico que utilizamos en las uniones en serie:

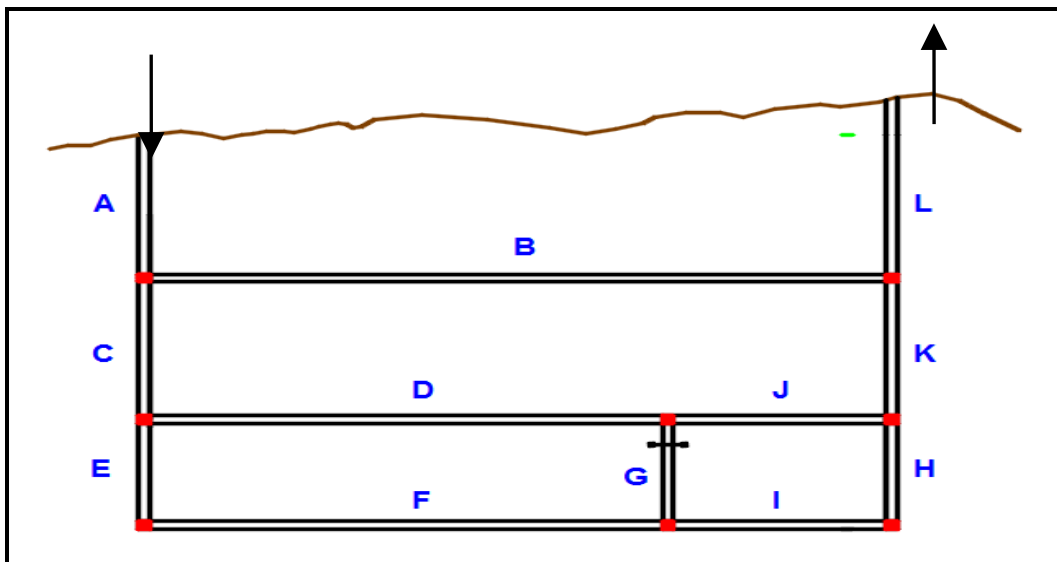


Figura 5. Diagrama del circuito en Paralelo (b)

Fuente: Ventilación de Minas; Servicio Nacional de Geología y Minería – SERNAGEOMIN.

Hemos cambiado los tapados para formar circuitos en paralelo, eliminando el paso de aire por la galería "G".

El diagrama equivalente permanecería tal y como se ve a continuación:

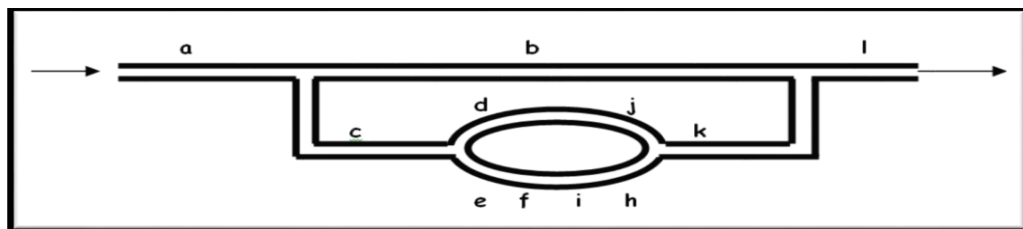


Figura 6. Diagrama de circuito en paralelo (c)
Fuente: Instituto de ingenieros de minas del Perú, 1989.

Nuestro plan lo solucionaremos disminuyendo en primer lugar las paralelas "d + j" y "e + f + i + h" obteniendo una labor igual "m"; disminuimos las paralelas (b) y (c + m + k), obteniendo "n". al final nos resultará una unión equivalente en serie.

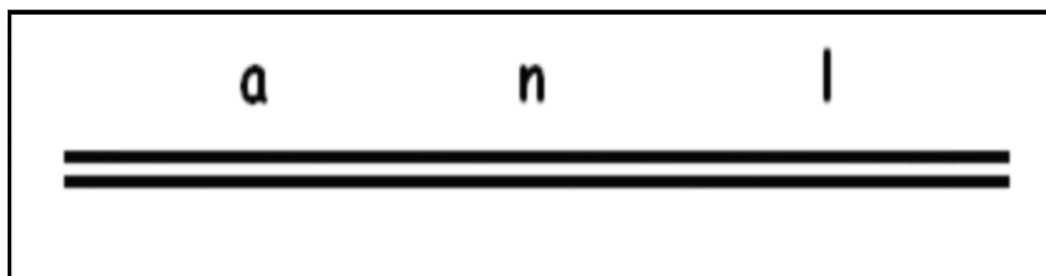


Figura 7. Diagrama de circuito en paralelo (d)
Fuente: Ventilación de minas; Servicio Nacional de Geología y Minera – SERNAGEOMIN.

2.2.9.3. Circuito en diagonal

Hoy en día en la minería actual las uniones diagonales las hallamos con frecuencia. Se fragmentan en uniones simples trazados con una diagonal y las que tienen más dificultad con dos a más.

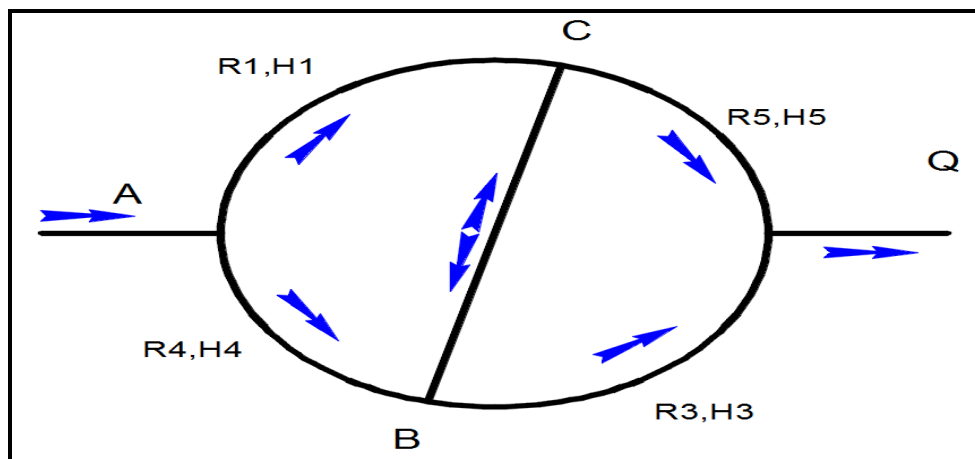


Figura 8. Sistema de ventilación en diagonal
Fuente: Manuel Quevedo, Lima 2013

2.2.10. Tipos de ventilación

2.2.10.1. Ventilación impelente

A través de estos sistemas, el aire ingresa por mangas de ventilación hacia el frente de trabajo (distancia de 15 m, del frente de acuerdo al reglamento en minería).

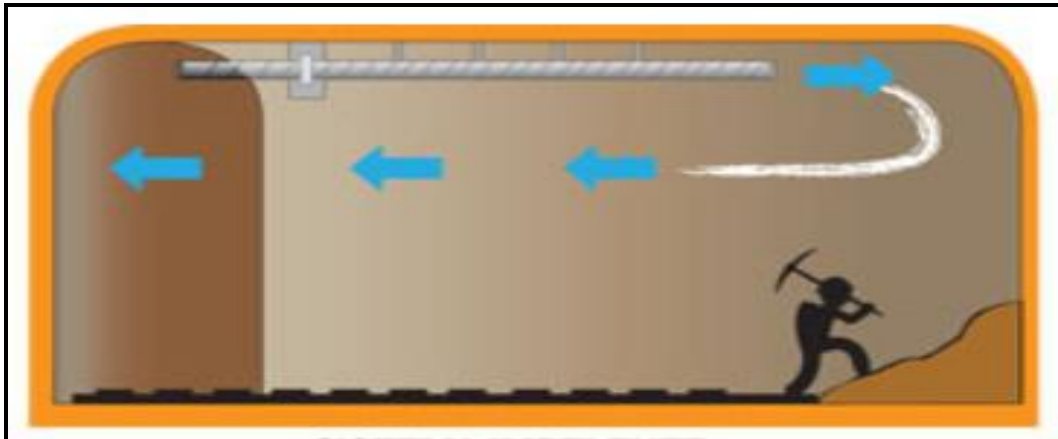


Figura 9. Ventilación Impelente
Fuente: Instituto de Ingenieros de Minas, 1989

2.2.10.2. Ventilación aspirante

En la ventilación por extracción, el aire contaminado en interior mina es succionado por la manga de ventilación, el aire contaminado se mueve hacia el flujo de ventilación principal extrayendo polvo gases tóxicos.

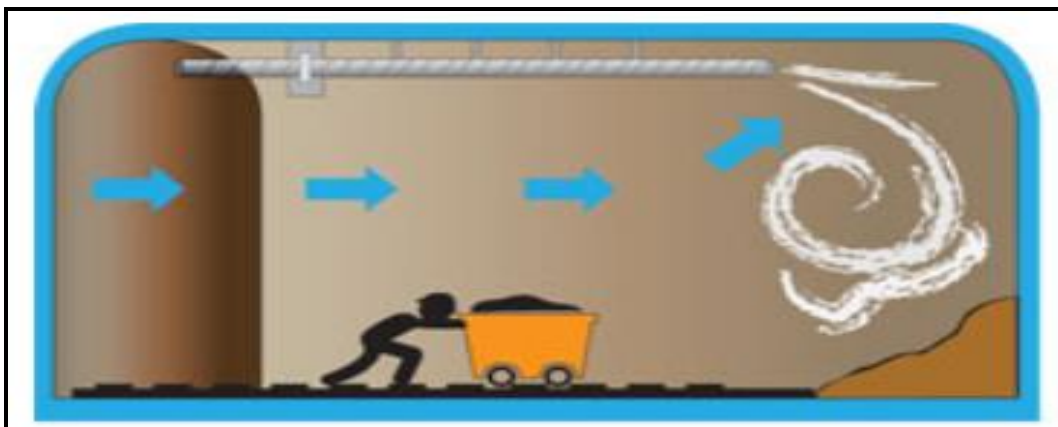


Figura 10. Ventilación aspirante
Fuente: Instituto de Ingenieros de Minas, 1989

2.2.10.3. Ventilación mixta

Aquí se emplea 2 tuberías extendidas, primero para succionar y otro para impeler aire a la labor, este sistema tiene grandes ventajas ya que mantenemos una constante renovación de aire limpio, su desventaja, alto costo de instalación y mantenimiento.

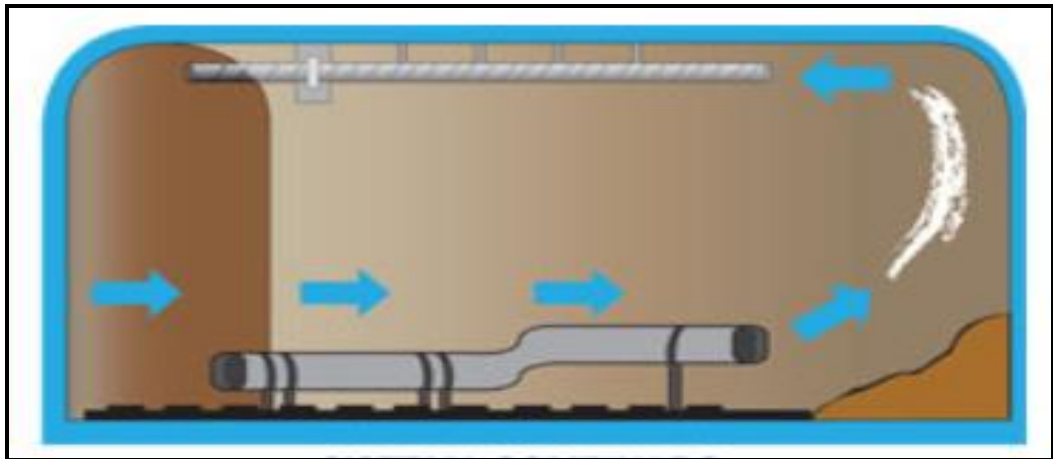


Figura 11. Ventilación mixta
Fuente: Merelles Manuel, 2018.

2.2.11. Sistemas de ventilación secundaria

- Difusión
- Tabiques longitudinales
- Labores paralelas

2.2.11.1. Difusión

Este tipo de método es lento y no garantiza la seguridad adecuada como método. Los elementos que intervienen para que ingrese aire o no al área de trabajo son, aire, caudal, orientación, otros.

2.2.11.2. Mediante tabiques longitudinales

Se basa principalmente en colocar un tabique longitudinal y hermético para seccionar en dos partes el frente, en donde podemos hacer uso de algunos elementos como madera, concreto, entre otros. Este método casi no se usa debido a su alto costo.

2.2.11.3. Mediante labores paralelos

Se basa principalmente en continuar a un mismo tiempo con dos labores que avanzan en paralelo, y que cada cierto espacio se realizan comunicaciones como estocadas el cual nos servirá para el ingreso y entorno del aire.

2.2.12. Elección de los factores de fricción y choque

Estos datos son tomados de acuerdo a la tabla 13. Para roca plutónica.

Tabla 13*Valores de factores de fricción K (Kg/m³)*

Descripción de labores	Factor de fricción (K) Kg / m³
Ductos rectangulares	
Revestimiento de concreto	0,003 7
Paredes de concreto o ladrillo con viguetas	0,003 9
Paredes sin revestir (lisas)	0,012 1
Paredes sin revestir (Irregulares)	0,015 8
Marcos de madera	0,018 6
Pozos verticales de sección circular	
Revestimiento de concreto: sin obstrucciones	0,003 0
Blindado: sin obstrucciones	0,013 9
Enmaderado: sin divisores	0,016 7
Revestimiento de ladrillo: con los divisores sin arriostre	0,017 6
Revestimiento de ladrillo: con los divisores con arriostre	0,022 3
Enmaderado con divisores arriostrados	0,022 3

Fuente: MC Pherson, 1986.

Los factores de choque X han sido escogidos de la tabla 14

Tabla 14
Factores de pérdida de carga

Ejemplos de geometría de vías de aire	Factor X
Curva 90° sección cuadrada $r/w = 1^*$	0,25
Curva 90° sección cuadrada $r/w = 0,5$	1,3
Curva 90° sección redonda $r/d = 1$	0,2
Curva 90° sección redonda $r/d = 0,1$	1,1
Curva cerrada 45° sección cuadrada $r/w = 1$	0,15
Curva cerrada 45° sección cuadrada $r/w = 0,5$	0,78
Curva redondeada 45° sección cuadrada $r/w = 1$	0,05
Curva redondeada 45° sección cuadrada $r/w = 0,5$	0,26
Desviación 45° cerrada sección redonda $r/w = 0,1$	0,66
Curva cerrada 45° sección redonda $r/w = 1$	0,12
Desviación suave 45° sección redonda $r/w = 0,1$	0,22
Curva redondeada 45° sección redonda $r/w = 1$	0,04
Entrada con borde definido (ej. Portal de inyección)	0,5
Entrada a ducto	1
Entrada de boca de campana	0,03
Intersecciones / expansiones / contracciones	Fórmula

Fuente: MC PHERSON, 1986.

2.2.13. Ley de resistencia

“En los cursos de hidrodinámica se muestra que la diferencia de presión entre dos áreas de un ducto está dada por la ecuación de atkinsón” (Yanes, 1993, p.75).

$$H_f = \alpha \times L \times P \times V^2/A \text{ (Kg/m}^2\text{)[13]}$$

Donde:

L : Largo de la labor en m.

A : Área de la labor en m².

P : Perímetro de la labor en m.

V : Velocidad del aire en m/seg.

α : $\beta \times \Phi/8 \times g$ = coeficiente de resistencia aerodinámica Kg*seg²/m⁴.

β : Coeficiente de roce.

Φ : Peso específico del aire en Kg/m³.

A : Aceleración de gravedad en m/seg².

Como sabemos que:

$$V = Q/A$$

Podemos colocar la fórmula como sigue:

$$H_f = \alpha \times L \times P \times Q^2/A^3 \text{ (Kg/m}^2\text{)[14]}$$

2.2.14. Pérdidas por choque

Son originadas internamente, generadas por distintas anomalías en interior mina como por ejemplo cuando hay paradas de aire por distintos incidentes en el circuito, también por remolinos o turbulencias de aire.


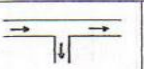

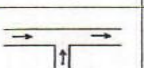
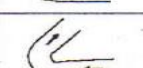
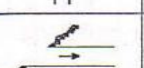

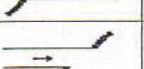


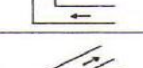



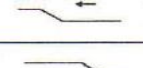



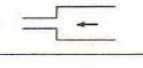

FORMA		Le	FORMA		Le
	CURVA OBTUSA REDONDEADA	0.5		BIFURCACION	230
	ANGULO RECTO REDONDEADO	1		JUNTURA	80
	CURVA AGUDA REDONDEADA	3		ENTRADA	3
	CURVA OBTUSA QUEBRADA	15		DESCARGA	65
	ANGULO RECTO QUEBRADO	70		PASO SOBRE NIVEL (OPTIMO)	1
	CURVA AGUDA QUEBRADA	150		PASO SOBRE NIVEL (BUENO)	65
	CONTRACCION GRADUAL	1		PASO SOBRE NIVEL (MALO)	280
	EXPANSION GRADUAL	1		HUECO PARA PUERTA	70
	CONTRACCION ABRUPTA	10		CARRO O JAULA 20 % AREA DEL CONDUCTO	100
	EXPANSION ABRUPTA	20		CARRO O JAULA 40 % AREA DEL CONDUCTO	500

Figura 12. Cargos equivalentes en pies (Le) para varias fuentes de pérdidas por choque (Le en pies).

Fuente: Hartman 1991.

2.2.15. Software ventsim visual 3D

Acerca de ventsim

La ventilación fue uno de los principales malestares en minería, hasta que se introdujeran distintos sistemas automatizados en las últimas 4 décadas la planificación y modelos de ventilación eran poco pensados su existencia.

Incluso cuando el software de ventilación permitía simular grandes modelos de conductos subterráneos, ingresar información y explicar resultados continuaba siendo una actividad para conocedores expertos del programa. Ventsim busca hacer del diseño y simulación un procedimiento accesible por todo ingeniero de minas o a fines a la carrera de ventilación.

2.2.15.1. Herramientas del ventsim visual 3D

Este programa proporciona al estudioso o profesional lo siguiente:
Simular y brindar una relación de caudales y presiones de un proyecto minero en ejecución.

Trabajar simulaciones de hechos supuestos para futuros avances programados.

Apoyar la planeación tanto a corto como largo plazo de las exigencias de la ventilación.

Simular concentraciones de humo, gas, entre otros, y con estos datos simular el planeamiento de la mina.

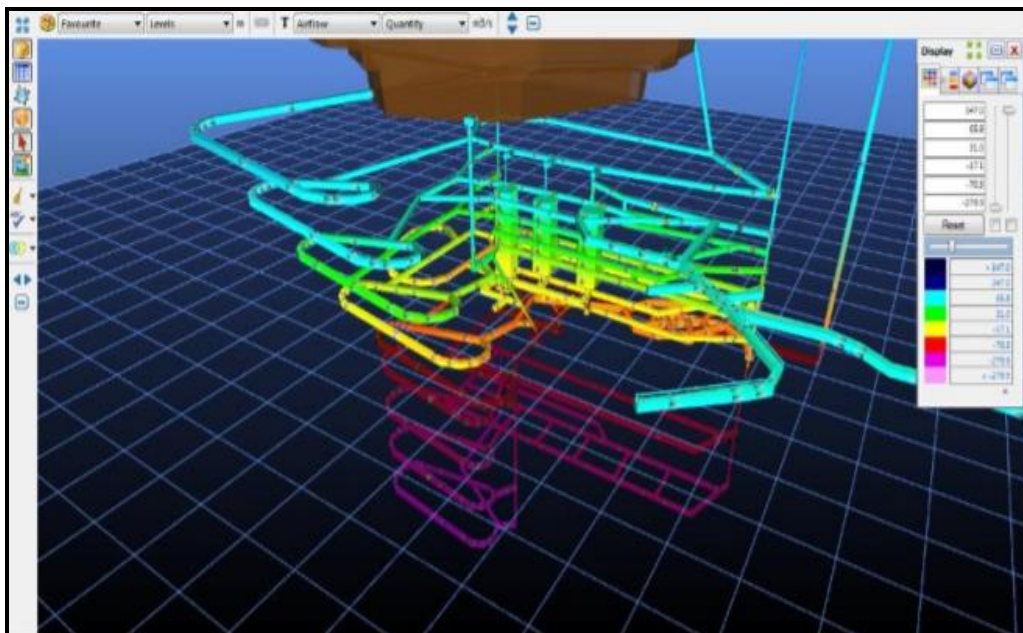


Figura 13. Plano de edición Ventsim Visual
Fuente: Howden, Versión 5.4.

2.2.15.2. Ventana de trabajo

Esta herramienta proporcionar un área grafica 100 % tridimensional. Ofreciendo entre sus funciones básicas el editar, crear, simular, entre otros, además de generar dibujos de modelos de circuitos de ventilación.

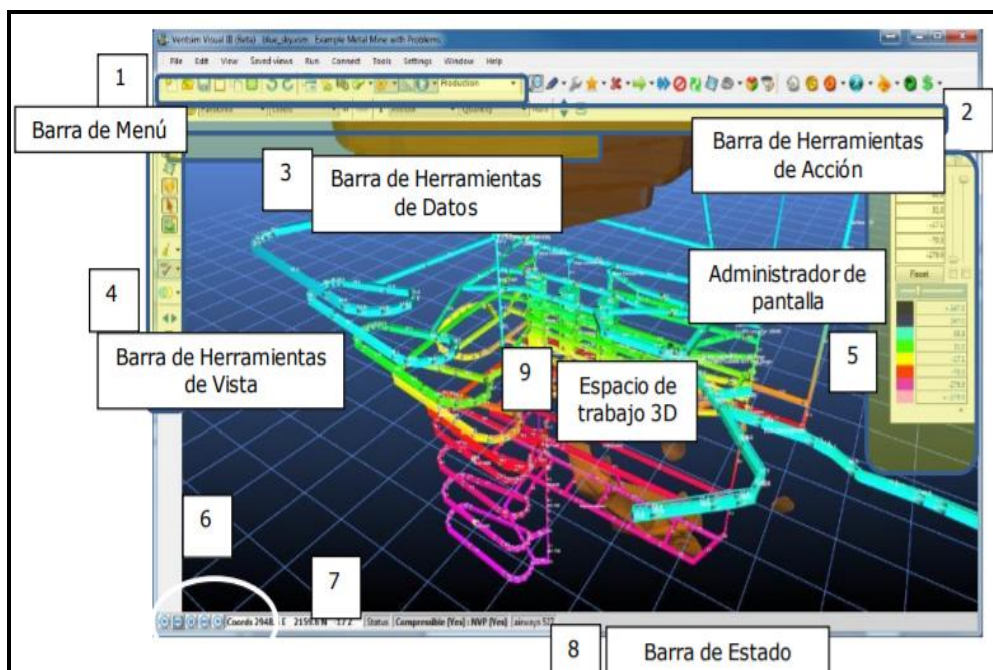


Figura 14. Ventana principal de Ventsim Visual
Fuente: Howden, Versión 5.4.

2.2.15.3. Como construir un modelo de ventilación:

En primer lugar, debemos trabajar en la importación de líneas de referencia, datos que nos brindara apoyo el área de planeamiento (topografía), ya cuando realizamos esta importación de líneas las transformaremos en solidos a través de una de las herramientas de ventsim; luego trabajaremos en las configuraciones ambientales, aquí es importante trabajar en varias configuraciones de los diversos parámetros para así contar con una simulación más exacta.

TIPOS DE MODELOS

Modelo cerrado: Este modelo no cuenta con conductos que lo unan con la superficie. Es primordial saber que no se suele presentar en la realidad minera, ventsim da las facilidades de generar un modelo cerrado y ver como el aire viaja a través de las labores.

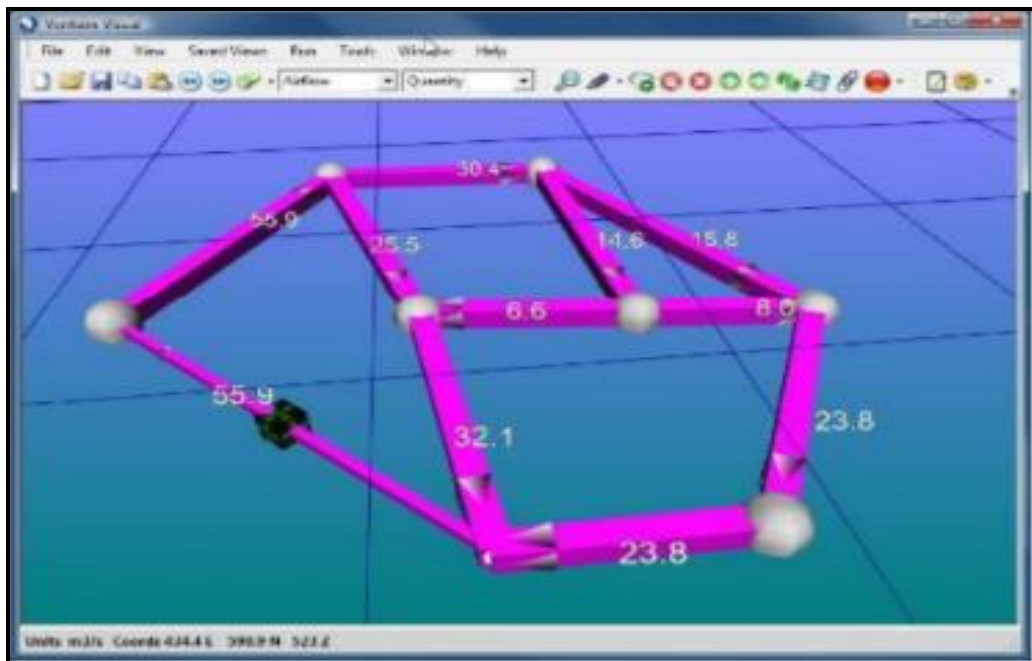


Figura 15. Red cerrada en Ventsim Visual

Fuente: Howden, Versión 5.4.

Modelo abierto: Este tipo de modelos contara mínimamente con 2 aperturas a superficie, por lo general toda la minería aplican a este modelo.

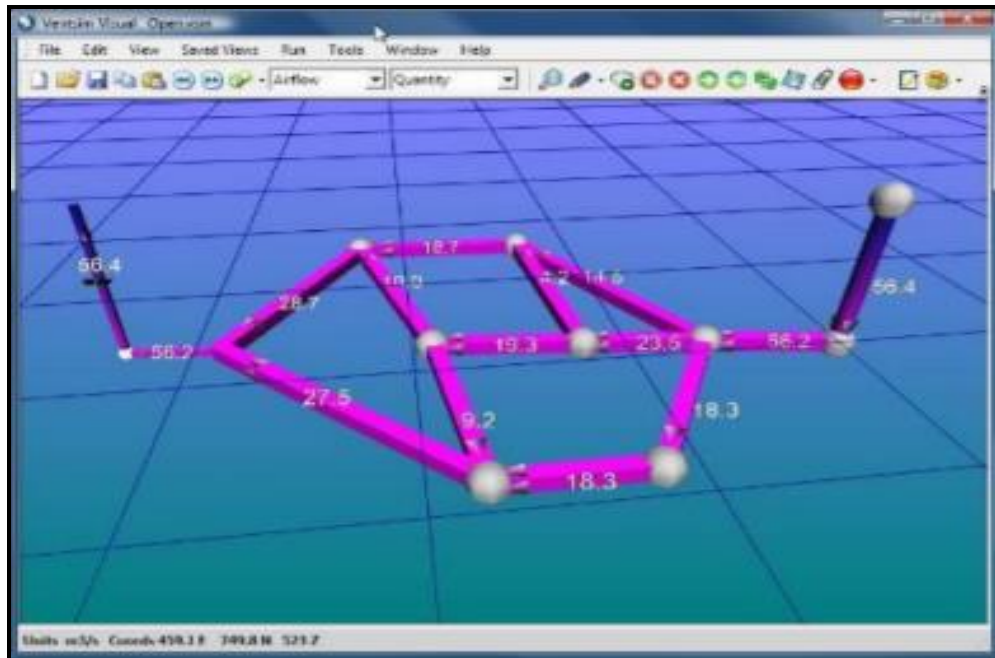


Figura 16. Red abierta en Ventsim Visual
Fuente: Howden, Versión 5.4.

2.2.15.4. Pasos a seguir para un estudio en ventsim serán:

- Modelamiento de todo el circuito de ventilación a corto y mediano plazo con apoyo del programa AutoCAD y minesighth.
- Para una operación nueva se estiman los parámetros termo ambientales del aire incluido las fuentes de calor.
- Incorporaremos la red al programa de ventsim 3D.
- Colocaremos pérdidas por choque y fricción, asumiendo valores predeterminados.
- Las operaciones parten de aceptar valores de caudal ingresados al programa.

2.3. Definición de términos

2.3.1. *Diseño de la ventilación en mina*

El diseño de la ventilación en mina involucra el cálculo en cada explotación de los factores analizados en el numeral anterior. Para este diseño se debe contar con una persona experta que realice los cálculos necesarios y defina el circuito de ventilación de la mina, realizando el cálculo de los ventiladores principales y de los caudales necesarios (Guía de seguridad para ventilación de minas subterráneas, 2017, p.14).

2.3.2. *Incendios y generación de humos, gases y calor*

La ocurrencia de un incendio, en cualquier parte, en un edificio, galpón o bosque, constituye un hecho de alarma y peligro que ha obligado al hombre a crear medios adecuados para prevenirlos y controlarlos. Sin embargo, año a año son muchas las víctimas que encuentran la muerte a causa de estos incendios. Ahora bien si pensamos en una mina subterránea, debemos estar de acuerdo que el peligro se multiplica varias veces; ya que el fuego mismo es una parte del riesgo, normalmente la más pequeña ya que los humos, gases y calor producidos en él, sobre todo el monóxido de

carbono, provocan un aumento considerable de riesgo; también debemos considerar el pánico que se presenta en la gente que se encuentra en el interior de la mina e, incluso, los familiares que al saber del incendio concurren al lugar y presionan para entrar a buscar a los suyos (Yanes, 1993, p.197).

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Caracterización del diseño de investigación

La presente investigación por el nivel y características es descriptiva y aplicada. En la investigación que se ha desarrollado demostraremos los resultados el cual nos permitirá el estudio y mejora del sistema de ventilación en mina Cruz de Oro.

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

Este trabajo está establecido en los niveles 4460 y 4475 en la mina Cruz de Oro, en ambos niveles tenemos 43 puntos de monitoreo.

3.2.2. Muestra

Estuvo compuesta por los niveles principales en la mina Cruz de Oro, en el nivel 4460 tendremos como muestra la rampa 7, en el nivel 4475 tendremos como muestra la GL 11 Este y el Inclinado I.

La muestra es quien estableció la problemática, esto nos permitió distinguir las deficiencias que existen dentro de nuestro desarrollo de trabajo.

3.3. Operacionalización de variables

3.3.1. Variable independiente (V.I.)

Diseño de un nuevo sistema de ventilación en la mina Cruz de Oro.

3.3.2. Variable dependiente (V.D.)

Dilución de gases nocivos en mina Cruz de Oro.

Tabla 15
Operacionalización de variables

	Variables	Dimensiones	Indicadores	Escala de valoración
Variables Independientes	Diseño de un nuevo sistema de ventilación en la Mina Cruz de Oro.	Ventiladores	Ventilación natural	m ³ /min
		aspirantes/	Ventilación mecánica	m ³ /min
		impelentes	Ventilación mixta	m ³ /min
Variables Dependientes	Dilución de gases nocivos en la mina Cruz de Oro.	Equipos de monitoreo de gases	Monóxido de carbono (CO)	PPM
			Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	PPM
			Dióxido de carbono (CO ₂)	PPM
			Gases sulfurosos (SO ₂)	PPM

Fuente: Elaboración propia

3.4. Técnicas e instrumentos para recolección de datos

3.4.1. Técnicas

Los métodos usados en el estudio fueron:

- Uso de equipo termo anemómetro para evaluar el aumento de temperatura y velocidad de flujo de aire.

- Medición de partículas en suspensión.
- La observación directa se relaciona con cada variable investigada.
- Uso de herramientas de topografía para la medición de las labores para calcular y hallar el volumen.
- Equipo de monitoreo de gases Altair 5X, equipo que nos facilitó encontrar la cantidad de gases existentes en una labor las cuales fueron registradas de acuerdo a normativas legales.

3.4.2. Instrumentos

Se hará uso de los siguientes instrumentos:

Anemómetro: Es un equipo que se usa básicamente para hallar velocidad y dirección del viento en labores (pies/min; m/s); este dato, sumando la sección transversal de la labor (pies²; m²), resultara en el caudal de aire que se mueve a través de la labor.

Tubos de humo: Equipo de elaboración simple, nos ayudara a buscar la dirección y velocidad de cortas cantidades de aire en las labores.

Detector de gases altair 5X: Este instrumento entrega resultados en porcentaje de la totalidad de aire.

3.4.3. Técnicas para el desarrollo de la información

La información buscada y obtenidas del campo, tomamos 09 muestras de ellas hallaremos el promedio, este resultado será nuestra muestra para trabajar.

3.4.4. Método de barrido

Para los cálculos de flujo de aire utilizamos el método del barrido, haciendo uso del equipo de medición termo anemómetro el cual es de alta sensibilidad a velocidades altas y bajas.

El equipo a usar lo usaremos en toda el área de la sección de la labor. Necesitamos que el equipo anemómetro sume y promedie los datos y nos dé un valor promedio.

Si queremos hallar promedios reales en cuanto a las distintas velocidades que se presentan entre el centro de la labor y la periferia de esta, es importante usar el método que describiremos a continuación.

3.5. Métodos de procesamiento y análisis de datos

Si queremos mostrar un adecuado análisis de datos, realizaremos un mapeo de ventilación, esto lo digitalizaremos en diferentes planos tanto isométricos como unifilares y después realizar un estudio exhaustivo; como resultado se deben mostrar haciendo el uso de gráficos y tablas como pretendemos mejorar y darle apoyo a la realización de dicho trabajo.

Usamos distintas programaciones que existen en la minería y obtener lo siguiente:

- Administración de datos de ventilación ejecutando los resultados obtenidos, es bien importante mencionar que el programa ventsim ayuda que los datos puedan ser guardados y este lo podamos usar en distintos escenarios de la ventilación.
- Hojas de cálculo.
- Los análisis estadísticos de los caudales de aire (excel), entre otros.
- El caudal de aire medidos en las estaciones de monitoreo establecidos en zona estratégicas en mina.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Mapeo de ventilación

El trabajo de mapeo se ejecutó en campo, analizando tanto los ingresos como salidas de aire, temperatura, dimensión de labores, entre otros, además se identificó la ubicación correcta de los ventiladores principales y auxiliares, y puntos de monitoreo.

4.2. Diagnóstico inicial del sistema de ventilación de proyecto

4.2.1. Medición de área de las labores

A fin de iniciar con nuestro trabajo colocamos nuestros puntos de monitoreo en ello adjuntaremos (caudal, gases y temperatura), debemos tener en cuenta un espacio de 2,5 y 3,5 m., donde la labor debe ser lo más uniforme posible.

4.2.2. Medición de velocidad de aire

Este trabajo se realizó con un termo-anemómetro para velocidades mayores a 20 m/s, se realizaron 9 lecturas en lugares diferentes haciendo una figura en forma de “S”, de estas 9 lecturas se obtiene un promedio siendo su resultado. Y para velocidades menores a 20 m/s se usó la sonda de hilo de 7mm.

Tabla 16

Datos de medición de velocidad de aire

Datos de medición de velocidad de aire											
Labor	Área (m²)	Vel 1	Vel 2	Vel 3	Vel 4	Vel 5	Vel 6	Vel 7	Vel 8	Vel 9	Vel. prom (m/s)
GL-18E	15,01	0,78	0,85	0,92	0,94	0,95	0,92	0,87	0,90	0,91	0,89

Fuente: Elaboración propia

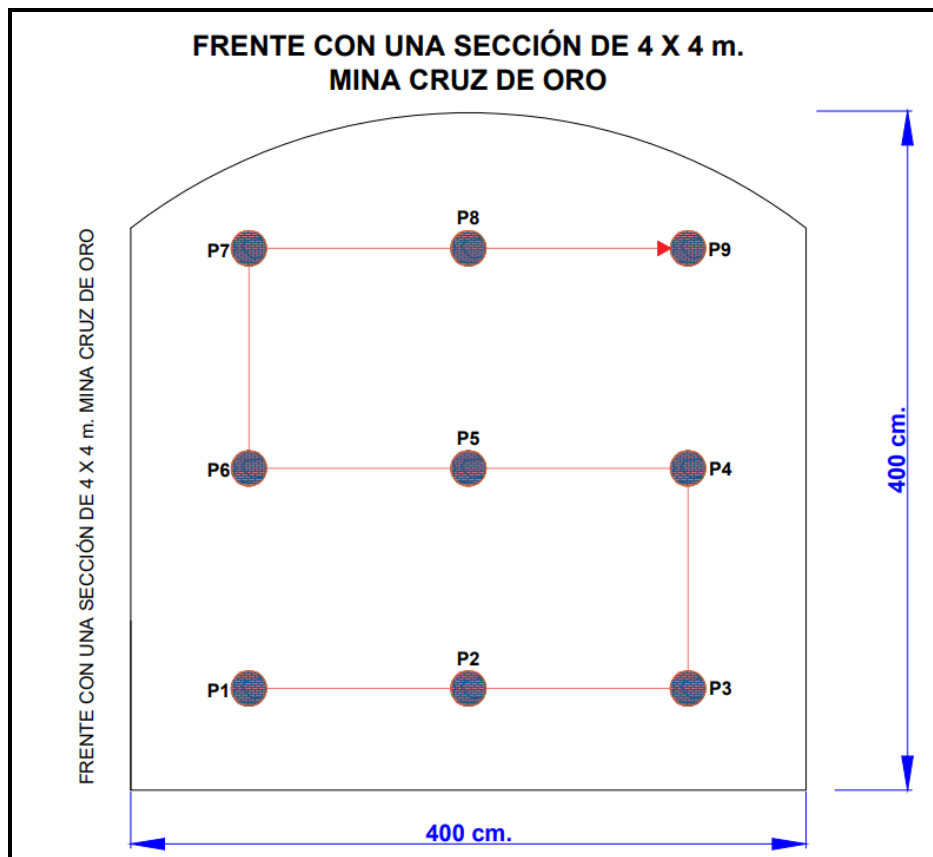


Figura 17. Trazado para la medición de velocidad de aire
Fuente: *Elaboración propia.*

4.2.3. Medición de temperatura y humedad relativa

Para medir estos aspectos se hizo uso del equipo termoanemómetro digital marca TESTO 435, anotando cada medición en cada uno de los puntos de monitoreo.

Tabla 17*Medición promedio de temperatura y humedad relativa por niveles*

Ítem	Nivel	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Vel. Prom. m/min.
1	4460	8,79	89,23	42,4
2	4475	9,04	88,27	66,7

Fuente: Elaboración propia.

4.2.4. Cálculo de caudal de aire

La cantidad de caudal de aire que se mueve a través de una labor; lo vamos a calcular a través de la siguiente fórmula:

$$Q = V * A$$

Donde:

Q : Caudal de aire (m³/min).**V** : Velocidad promedio en los puntos de monitoreo establecidos (m³/min).**A** : Área, sección transversal al flujo de aire (m²).

4.2.5. Ingresos y salidas de aire

Cuando se realizó el trabajo de recorrido y esquematización de la ventilación de la mina se establecieron 44 puntos de monitoreo, entre ellos debemos mencionar la existencia de 7 puntos de ingreso y 7 puntos de salida, el aforo es de 9 612 m³/min (339 474,50 cfm). Ver Tabla 18.

Tabla 18*Datos de levantamiento y procesamiento inicial de ventilación*

Balance de ingreso y salida de aire de mina zona Cruz de Oro														
Ítem	Est.	Sentido	Nivel	Labor	T° (°C)	HR %	Ancho (m)	Altura (m)	Factor de área	Área (m ²)	Vel. prom (m/s)	Vel. prom (m/min)	Q (m ³ /min)	Q (cfm)
1	EPM-1	Ingreso	4475	RP-500.1	6,70	78,80	4,77	5,34	0,95	24,20	1,42	85,07	2 058,46	72 695
6	EPM-6	Ingreso	4475	GL-05E	8,00	87,70	4,18	3,86	0,95	15,33	0,29	17,13	262,62	9 274
13	EPM-13	Salida	4475	TJ-15E	8,20	94,15	3,61	4,12	0,95	14,13	0,70	41,80	590,61	20 858
14	EPM-14	Ingreso	4475	GL-13E	8,20	89,00	4,47	4,01	0,95	17,03	0,83	49,87	849,15	29 988
15	EPM-15	Ingreso	4475	GL-14E	9,05	83,28	4,33	3,98	0,95	16,37	0,34	20,33	332,89	11 756
16	EPM-16	Salida	4475	GL-09E	11,70	92,50	4,1	3,9	0,95	15,23	0,44	26,67	406,12	14 342,08
17	EPM-17	Salida	4475	GL-06E	10,20	80,40	4,5	4,2	0,95	17,99	0,26	15,53	279,37	9 865,96
18	EPM-18	Salida	4475	GL-02E	11,90	81,70	4,37	3,89	0,95	16,15	1,63	97,73	1 578,33	55 739
33	EPM-33	Salida	4460	GL-19E	9,50	88,10	4,1	4,2	0,95	16,52	1,62	97,27	1 606,71	56 740,93
34	EPM-34	Ingreso	4460	GL-18E	7,10	87,10	4,25	4,14	0,95	16,72	0,62	37,33	624,04	22 037,83
35	EPM-35	Ingreso	4460	GL-16E	7,70	90,30	4,36	4,18	0,95	17,31	0,27	16,13	279,33	9 864,38
36	EPM-36	Ingreso	4460	GL-14E	7,10	81,40	4,74	4,20	0,95	18,91	0,24	14,31	270,70	9 559,85
37	EPM-37	Salida	4460	TJ-05	9,20	90,00	4,65	5,22	0,95	23,06	0,34	20,13	464,26	16 395,40
38	EPM-38	Salida	4460	TJ-01	9,10	92,50	4,14	4,16	0,95	16,36	0,28	16,67	272,69	9 629,98

Fuente: Elaboración propia.

4.2.6. Ubicación de ventiladores por labor

En la esquematización de la ventilación colocamos los ventiladores instalados, trabajando como impelentes o extractores, mostramos en la tabla adjunta a continuación.

Tabla 19

Inventario inicial de ventiladores mina Cruz de Oro.

INVENTARIO DE VENTILADORES SECUNDARIOS Y AUXILIARES - MINA CRUZ DE ORO								
N°	Código	Marca	Q (CFM)	Ubicación (Labor)	Nivel	Posición	Zona o labores que ventila	Condición
1	V-1	Airtec	60 000	GL-02E	4475	Extractor	Extractor del Nivel 4475 y 4460	Operativo
2	V-4	Tomocorp	60 000	GL-19E	4460	Extractor	Extractor del Nivel 4460	Operativo
3	V-6	Tomocorp	30 000	GL-14E	4475	Impelente	Impelente al IN-K, GL-18E, GL-16E	Operativo
4	V-7	Tomocorp	30 000	GL-18E	4460	Impelente	Impelente al IN-K, GL-19W	Operativo
5	V-8	Tomocorp	10 000	RP-CARMEN	4460	Impelente	Impelente a la RP-CARMEN	Operativo
6	V-9	Airtec	10 000	RP-501	4460	Impelente	Impelente a la RP-501	Operativo

Fuente: Elaboración propia.

4.2.7. Monitoreo inicial de gases

La toma de muestras de monitoreo ayudándonos de nuestro equipo me permitió hallar las mediciones de contaminantes como O₂, CO, CO₂ y NO₂, estas mediciones se realizaron principalmente en labores de avance y producción, tajos de producción, cámaras de carguío, labores principales y otros. Utilizando el equipo ALTAIR 5X y que mostramos en las tablas 20 y 21.

Tabla 20

Monitoreo inicial de gases nivel 4475

Unidad minera Cori Riqueza - mina Cruz de Oro										
Monitoreo de gases de las labores de avance y de producción										
Ítem	Nivel	Labor	may-21				jun-21			
			CO (ppm)	NO2 (ppm)	O (%)	CO2 (ppm)	CO (ppm)	NO2 (ppm)	O (%)	CO2 (ppm)
1	4475	INC - K	30,53	0,03	19,52	0,11	30,90	0,02	19,46	0,10
2	4475	GL-18E	16,50	0,00	19,70	0,10	16,35	0,00	19,68	0,10
3	4475	GL-16E	17,23	0,02	19,65	0,20	16,42	0,01	19,64	0,19
4	4475	GL-15E	27,18	0,11	19,54	0,22	26,98	0,17	19,51	0,09
Total			22,86	0,04	19,60	0,16	22,66	0,05	19,57	0,12

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 21*Monitoreo inicial de gases nivel 4460*

Unidad minera Cori Riqueza - mina Cruz de Oro										
Monitoreo de gases de las labores de avance y de producción										
Ítem	Nivel	Labor	may-21				jun-21			
			CO (ppm)	NO2 (ppm)	O (%)	CO2 (ppm)	CO (ppm)	NO2 (ppm)	O (%)	CO2 (ppm)
1	4460	RP-CAR	30,97	0,02	19,57	0,10	29,94	0,00	19,60	0,10
2	4460	GL-19W	28,47	0,05	19,62	0,13	30,65	0,04	19,58	0,13
3	4460	INC-K	5,87	0,05	20,64	0,38	6,52	0,05	20,65	0,36
4	4460	RP-501	1,83	0,03	20,72	0,07	2,68	0,02	20,71	0,06
5	4460	TJ-15	20,97	0,10	19,68	0,08	22,16	0,11	19,62	0,07
6	4460	TJ-01	21,47	0,14	19,64	0,07	22,39	0,12	19,59	0,08
7	4460	GL-14E	26,04	0,02	19,49	0,18	26,58	0,06	19,52	0,11
Total			19,37	0,06	19,91	0,14	20,13	0,06	19,90	0,13

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en las tablas 20 y 21, la concentración de monóxido de carbono supera los 25 ppm en labores como el INC K, GL-15E (Nv.4475) o RP-CARMEN, GL-19W, GL14E (Nv.4460).

Cada medición realizada en la mina nos sirve como datos de referencia para entender cuál es el estado de la mina y a la vez nos permitió tomar conocimiento de aquellos puntos donde se tiene mayor insuficiencia de oxígeno y alta acumulación de monóxido de carbono, con

estos datos efectuar un análisis en adelante en cuanto a la ventilación, los datos tomados lo más precisos posibles claro está que se ubican bajo los límites máximos permisibles esto a lo establecido por el DS. 024-2016-EM y su modificatoria DS. 023-2017-EM.

4.2.8. Requerimiento de caudal de aire

El requerimiento de caudal de aire para el personal (Q1): He tomado como muestra el personal que actualmente labora en la mina Cruz de Oro y lo mostramos en la siguiente tabla:

Tabla 22
Personal que labora en interior mina

Cantidad de personal por guardia Cruz de Oro					
Zona	Personal	m³/min	Total, m³/min	F. Conversión	Q (cfm)
Cruz de Oro	45	6	270	35,314	9 534,78

Fuente: Elaboración propia.

A lo que establece el DS.024-2016-EM y modificatoria DS.023-2017-EM, de 4 000 m.s.n.m., incrementa en 100 % siendo igual a 6 m³/min.

$$Q_1 = q * n$$

$$Q_1 = 6 \text{ m}^3/\text{min} * 45$$

$$Q_1 = 270 \text{ m}^3/\text{min}$$

Requerimiento caudal de aire para equipos diésel (Q2): A continuación, mostramos en la siguiente tabla los equipos que laboran en interior mina.

Tabla 23
Relación de equipos que laboran en interior mina

Relación equipos diésel zona Cruz de Oro						
N°	Equipo	Potencia nominal N° HP	Capacidad efectiva de potencia HP	Disponibilidad mecánica (Dm)	Factor de utilización (Fu)	Requerimiento por equipos m3/min
1	Scooptram 6yd3	280	238	0,92	0,86	563,04
2	Scooptram 6yd3	280	238	0,77	0,86	471,24
3	Scooptram 6yd3	280	238	0,94	0,86	575,28
4	Simba S1D	172	146,2	0,93	0,24	97,12
5	Jumbo Frontonero S1D	77	65,45	0,79	0,24	36,93
6	Jumbo Frontonero S1D	77	65,45	0,89	0,24	41,61
7	Jumbo Empernador Bolter	97	82	0,93	0,24	54,77
8	Jumbo Empernador Bolter	97	82	0,93	0,24	54,77
9	Scaler	101	86	0,93	0,48	114,06
10	Telehandler	110	94	0,90	0,48	120,21
11	Volquete	440	374	0,75	0,57	480,86
12	Volquete	440	374	0,75	0,57	480,86
13	Volquete	440	374	0,75	0,57	480,86
14	Volquete	440	374	0,75	0,57	480,86
15	Camioneta	174	147,9	0,90	0,19	76,06
		3 505	2 831	0,86	0,48	4 128,52

Fuente: Elaboración propia.

En el caso de uso de equipos diesel, para alturas mayor a 4 000 m.s.n.m., la suma de aire requerido es de 3 m³/min por cada HP, esto según el DS. 024-2016-EM y su modificatoria DS. 023-2017-EM.

$$Q_2 = 3 * \text{HPs} * D_m * F_u \text{ (m}^3\text{/min)}$$

$$Q_2 = 3 \text{ m}^3\text{/min} * 2\ 831 * 0,86 * 0,48$$

$$Q_2 = 4\ 128,52 \text{ m}^3\text{/min}$$

Requerimiento de caudal por el uso de madera (Q3)

$$Q_{ma} = T * u \text{ (m}^3\text{/min)}$$

Donde:

Q_{ma} : Caudal requerido por toneladas de producción (m³/min).

u : Factor de producción, de acuerdo a escala establecida en el segundo párrafo del literal d) del artículo 252 del reglamento.

T : Producción en toneladas métricas húmedas por guardia.

Tabla 24

Factor de producción de acuerdo al 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: DS. 024-2016-EM y su modificatoria DS. 023-2017-EM, ANEXO 38.

En la mina cruz de oro no se hace el consumo de madera en cuanto a los trabajos de producción, por lo tanto, el requerimiento de caudal por uso de madera (Q_{ma}) es igual a 0.

Requerimiento de caudal por temperatura en las labores de trabajo (Q4)

$$Q_{te} = V_m * A * N \text{ (m}^3\text{/min)}$$

Donde:

Q_{te} : Caudal por temperatura (m³/min).

V_m : Velocidad mínima.

A : Área de la labor promedio.

N : Numero de niveles con temperatura mayor a 23°C, de acuerdo a escala establecida en el tercer párrafo del literal d) del artículo 252. (DS 024-2016-EM y su modificatoria DS 023-2017-EM, ANEXO 38).

Art. 252; literal d).

“Para mantener la temperatura de confort en el lugar de trabajo, consideraremos en el cálculo del requerimiento de aire una velocidad mínima 30 m/min, si la temperatura se encuentre entre 24°C **hasta** 29°C como máximo” (DS. 024-2016-EM y su modificatoria DS. 023-2017-EM).

Por lo tanto, la mina cruz de oro al contar con un promedio en temperatura de 8,92°C y una velocidad mínima exigible de acuerdo a norma de 20 m/min, entonces nuestro requerimiento de caudal por temperatura (Q_{te}) será igual a 0.

Requerimiento de caudal por fugas (Q5)

$$Q_{fu} = 15\% * Q_{ti} \text{ (m}^3\text{/min)}$$

Donde:

$$Q_{ti} : Q_{tr} + Q_{eq} + Q_{ma} + Q_{te}$$

$$Q_{fu} = 15\% * 4398,52 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$Q_{fu} = 659,78 \text{ m}^3/\text{min}$$

- Requerimiento total de caudal de aire.

$$Q_t = Q_{t1} + Q_{fu}$$

$$Q_t = 4\ 398,52 + 659,78$$

$$Q_t = 5\ 058,3 \text{ m}^3/\text{min}$$

Tabla 25
Caudal de aire total requerido

Caudal total requerido		
Requerido	Q (m³/min)	Q (cfm)
Q ₁ : Personal	270	9 534,78
Q ₂ : Equipos diesel	4 128,52	145 794,55
Q ₃ : Por uso de madera	0,00	0,00
Q ₄ : Temperatura en labores	0,00	0,00
Q _{Fu} : Por fugas	659,78	23 299,47
Q ₁ +Q ₂ +Q ₃ +Q ₄ +Q _{Fu}	5 058,3	178 628,80

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 26*Balance de cobertura inicial*

Balance de caudal inicial		
Cobertura de aire	Q (m3/min)	Q (cfm)
Qi: Caudal de ingreso	4 677,2	165 175,00
Qs: Caudal de salida	4 461,1	183 571,00
Balance	16,1	568,5
Qr: Caudal requerido	5 058,3	178 628,80
Cobertura (%)	92,5 %	

Fuente: Elaboración propia.

4.3. Diseño del nuevo sistema de ventilación

4.3.1. Diseño del sistema de ventilación usando el software ventsim visual.

Para realizar el nuevo diseño de ventilación he aplicado software ventsim visual en el cual buscaremos que la simulación sea entendible por estudiosos y profesionales en minas o personal a fines, el programa ventsim nos permitirá ver tridimensionalmente con diversos colores y en niveles de acuerdo a la ubicación de la mina.

4.3.2. Parámetros ambientales tomados en la mina

Para el nuevo diseño de ventilación con el programa ventsim visual necesitaremos parámetros, (factor de fricción "K", altitud, temperatura, densidad, presión y otros), estos datos son de importancia para trabajar en una simulación cercana a la actualidad, así mismo que el flujo de aire que circula por las labores debe registrar valores cercanos a los evaluados en campo.

Ingresamos los siguientes valores a Ventsim visual (Input data):

Tabla 27

Parámetros ambientales tomados en mina Cruz de Oro.

PARÁMETROS AMBIENTALES		
N°	Código	Posición
1	Densidad del aire	0,723 kg/m ³
2	Bulbo húmedo	5,6 °C
3	Bulbo seco	7,8 °C
4	Temperatura roca superficie	7,4 °C
5	Presión barométrica promedio	598,2 hPa.
6	Humedad relativa	77,5%
7	Elevación superficie	4 470 msnm.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.3. Gradiente térmico

Se midió la temperatura de roca (°C) en puntos estratégicos de la mina cruz de oro para luego realizar el análisis de los niveles 4460 y 4475.

Tabla 28
Condiciones ambientales

Nivel	Detalle	Condiciones ambientales				Temperatura de roca (°C)
		T. Amb. (°C)	Twb (°C)	Td (°C)	HR (%)	
4475	RP-500	8,2	7,4	6,8	92	4,9
4475	GL-07E	8,2	7,4	6,8	92	5,26
4460	GL-19E	9,6	7,7	5,9	76	6,1
4460	GL-05E	13,4	10,4	8	69,6	6,86

Fuente: Elaboración propia.

El gradiente geotérmico es 0,89; esto significa que a medida que suba o baje 100 metros la temperatura va a variar en 0,89°C.

Determinación del factor de fricción “k”

La mina tiene alta rugosidad, ya que sus labores están con auto sostenimiento debido a la calidad de la roca; además de la presencia de filtración de agua lo que genera una resistencia considerable.

Resolvimos el factor de fricción K, por la disparidad en cuanto a caída de presión esto se retribuye a 2 puntos que se encuentran separados > de 50 metros.

4.3.4. Sistema de ventilación insertado en software ventsim

Para determinar el nuevo diseño del sistema de ventilación, ingresamos datos como labores en exploración, desarrollo, preparación y explotación. Ya con el nuevo diseño ayudado con el software ventsim visual se inserta los parámetros tomados en campo, tales como; parámetros ambientales, parámetros económicos, gradiente térmico, factor de fricción, rugosidades, resistencia, tapones herméticos, rellenos, zona de operación, equipos, personal, entre otros.

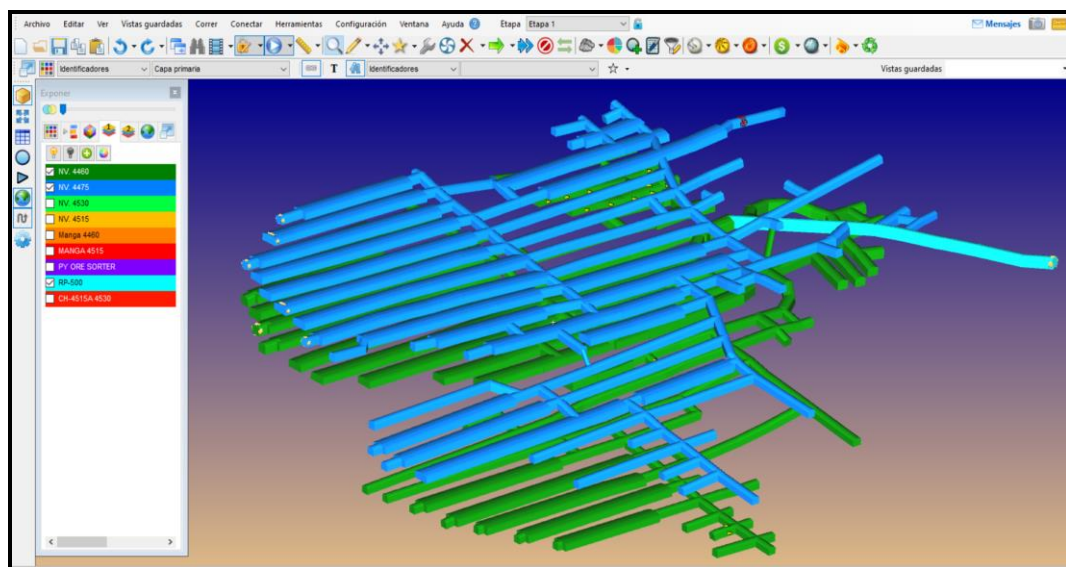


Figura 18. Labores de estudio modelado en ventsim visual.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.5. Análisis y evaluación del nuevo diseño del sistema de ventilación

Para la evaluación del nuevo sistema de ventilación se introdujo al programa ventsim los datos y la posición actual del sistema de ventilación para analizar y diseñar el nuevo sistema.

A. Resultados de la situación actual del sistema de ventilación en el Nv. 4475 y 4460

Actualmente tanto en el nivel 4475 y nivel 4460 se tiene labores que conectan a superficie, por estas conexiones ingresa aire fresco y es extraído por los ventiladores extractores secundarios, sin llegar a las labores donde se encuentra personal y equipos laborando, por ende, no cumple la velocidad según el reglamento minero que es de 20 m/min y máximo 250 m/min; igualmente, la acumulación de los gases se establece fuera de los límites máximos permisibles (LMP).

Tabla 29*Velocidades menores a 20m/min en el nivel 4475 y 4460*

Datos de levantamiento – ventilación mina Cruz de Oro												
N°	Est.	Nivel	Labor	T° (°C)	HR %	Ancho (m)	Altura (m)	Área (m ²)	Vel. prom (m/s)	Vel. prom (m/min)	Q (m ³ /min)	Q (cfm)
1	EPM-6	4475	GL-05E	8,00	87,70	4,18	3,86	15,33	0,29	17,13	262,62	9 274
2	EPM-7	4475	INC-E	8,16	90,26	4,02	3,90	14,89	0,23	13,80	205,54	7 259
3	EPM-8	4475	GL-14E	9,20	80,40	4,54	4,17	17,99	0,31	18,53	333,33	11 771
5	EPM-10	4475	INC-K	8,89	92,15	4,19	3,96	15,76	0,30	17,73	279,53	9 871
7	EPM-17	4475	GL-06E	10,20	80,40	4,54	4,17	17,99	0,26	15,53	279,37	9 866
8	EPM-19	4475	GL-01E	8,20	89,00	4,47	4,01	17,03	0,27	16,13	274,73	9 702
9	EPM-20	4475	GL-02W	8,00	87,70	4,24	3,75	15,11	0,24	14,60	220,53	7 788
10	EPM-22	4475	GL-06W	9,12	91,20	3,77	4,13	14,79	0,25	15,27	225,82	7 975
11	EPM-23	4475	RP-500.3	8,50	93,30	4,25	4,23	17,08	0,24	14,33	244,79	8 645
12	EPM-24	4475	RP-07	9,10	95,70	5,52	4,64	24,33	0,20	12,20	296,85	10 483
13	EPM-25	4475	GL-10E	9,50	90,60	4,67	4,51	20,01	0,20	12,27	245,44	8 668
14	EPM-26	4475	RP-460	9,40	90,10	4,98	5,83	27,58	0,33	19,53	538,76	19 026
15	EPM-27	4475	RP-CAR.1	9,30	90,80	4,84	4,18	19,22	0,22	13,33	256,26	9 050
16	EPM-28	4475	RP-CAR.2	9,22	91,12	4,31	4,00	16,38	0,31	18,60	304,63	10 758
17	EPM-29	4475	GL-14W	7,10	81,40	4,74	4,20	18,91	0,18	11,07	209,30	7 391
18	EPM-31	4475	INC-K	9,05	91,14	4,17	4,09	16,20	0,33	19,60	317,57	11 215
19	EPM-32	4475	GL-19W	8,86	88,98	4,05	4,27	16,43	0,32	19,07	313,24	11 062
20	EPM-35	4475	GL-16E	7,70	90,30	4,36	4,18	17,31	0,27	16,13	279,33	9 864
21	EPM-36	4475	GL-14E	7,10	81,40	4,74	4,20	18,91	0,24	14,31	270,70	9 560
22	EPM-38	4475	TJ-01	9,10	92,50	4,14	4,16	16,36	0,28	16,67	272,69	9 630
23	EPM-41	4475	GL-02W	9,15	92,00	4,20	4,25	16,96	0,24	14,67	248,71	8 783

Fuente: Elaboración propia.

B. Escenarios de sistema de ventilación actual

1. **Preparación de galerías nivel superior e inferior:** Para la ejecución de labores se utilizan ventiladores auxiliares de 30 000 cfm con manga de ventilación de 32 pulgadas de diámetro que inyectan aire fresco para ventilar dichas labores, un ventilador independiente para cada nivel, la salida de aire usado es extraído por los ventiladores extractores en un 50 % y el 50 % restante es aire limpio que ingresa de las conexiones de superficie.

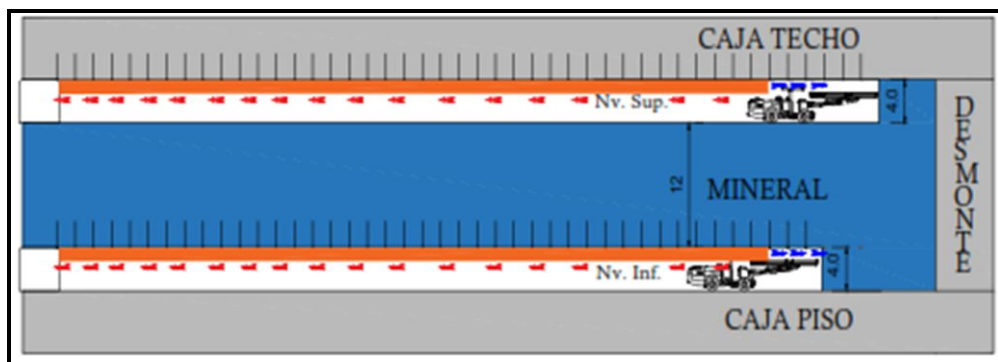


Figura 19. Escenario de preparación de galería superior e inferior.
Fuente: *Elaboración propia.*

2. **Galerías conectadas a superficie, proceso de perforación de taladros largos (Explotación):** Las galerías conectan a superficie en ambos niveles, se ventilan naturalmente por la conexión a superficie y la salida del aire usado, es por los ventiladores

extractores, pero no cumple con las velocidades requeridas de acuerdo a norma (20 m/min – 250m/min) y el circuito de ventilación no está definido.

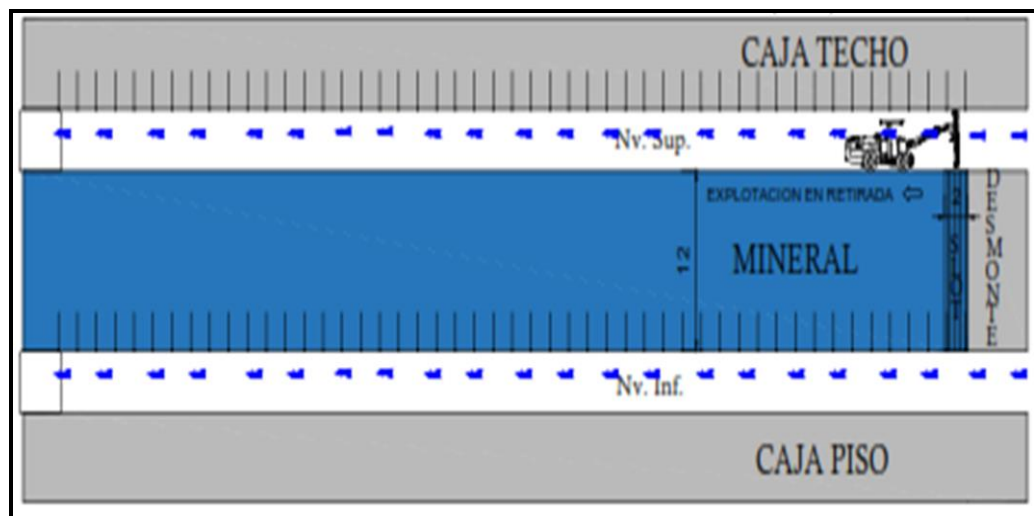


Figura 20. Escenario de perforación de taladros largos.

Fuente: *Elaboración propia.*

- 3. Labores conectadas a superficie y conectadas de nivel a nivel (Explotación):** En las galerías conectadas a superficie, el circuito de ventilación es cambiante durante el día y noche, en donde la concentración de gases excede los límites permisibles, de la misma forma no se tiene un circuito de ventilación definida en ambos niveles, a pesar que ya cuenta con slot de tajo de taladros largos.

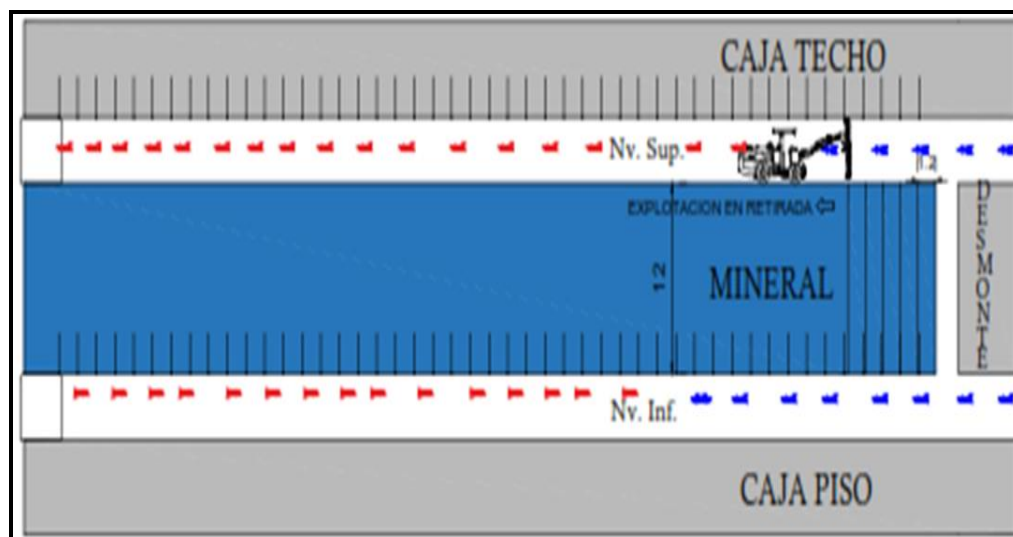


Figura 21. Escenario de labores conectadas de nivel a nivel.
Fuente: Elaboración propia.

4. **Labores conectadas a superficie en limpieza de mineral roto (Explotación):** En proceso de limpieza con labores conectadas a superficie en el nivel inferior es obstruido el paso de aire, solo por el nivel superior existe ingreso de aire, pero en cantidad mínimo donde no cumple con la velocidad de (20 m/min – 250m/min de acuerdo a reglamento) y la concentración de los gases supera los límites máximos permisibles.

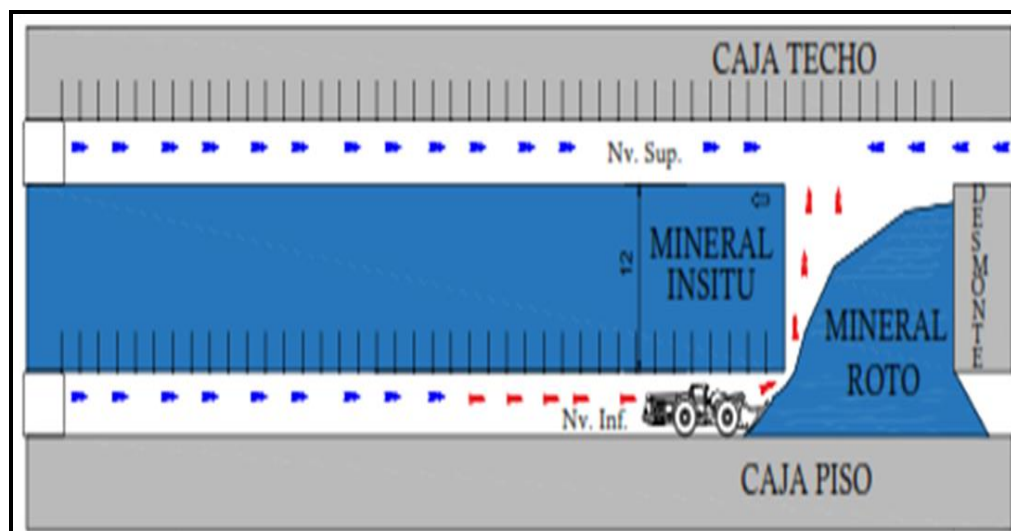


Figura 22. Escenario de labores conectadas a superficie en limpieza de mineral.
Fuente: *Elaboración propia.*

C. Sistema de ventilación actual insertado al software ventsim

Para determinar un diseño nuevo del sistema de ventilación, ingresamos información de las labores en exploración, desarrollo, preparación y explotación.

Con los parámetros ambientales tomados en campo se configuró el ventsim visual.

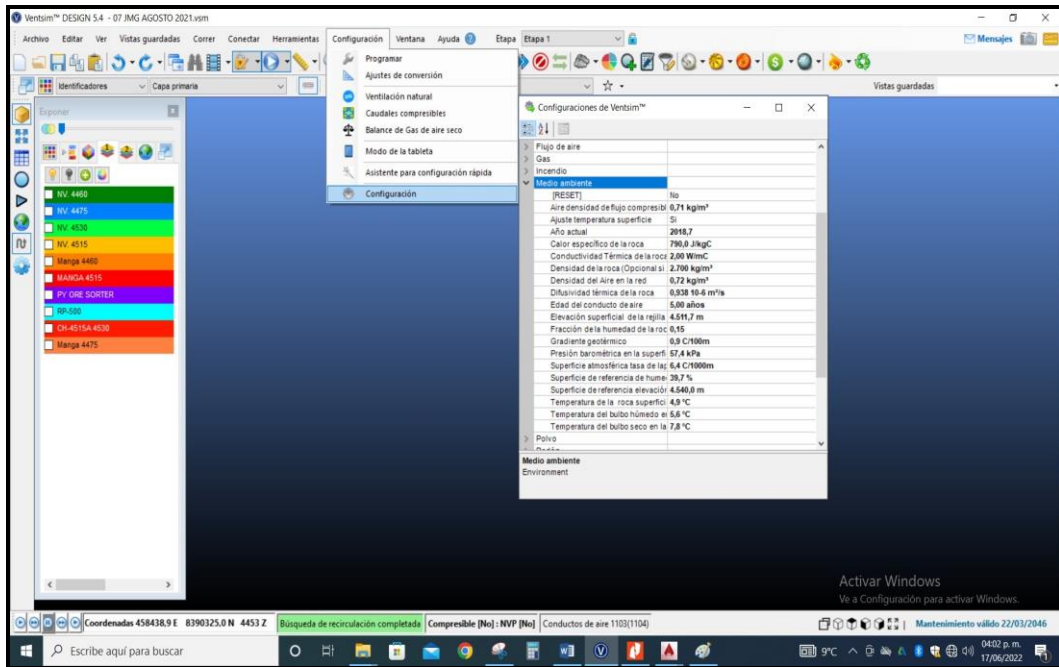


Figura 23. Parámetros ambientales ingresados al ventsim.
Fuente: Elaboración propia.

Los ejes centrales de las labores de estudio del minesight, se importó al ventsim para realizar la simulación.

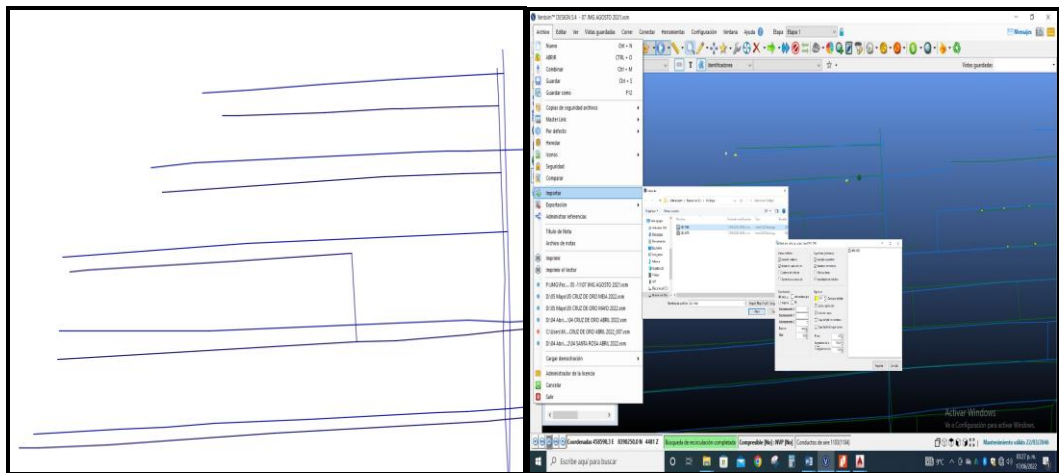


Figura 24. Importación de datos del minesight al ventsim
Fuente: Elaboración propia.

Una vez ingresado los ejes centrales al ventsim se convirtió en sólidos las labores para configurar como está actualmente el sistema de ventilación en la mina cruz de oro.

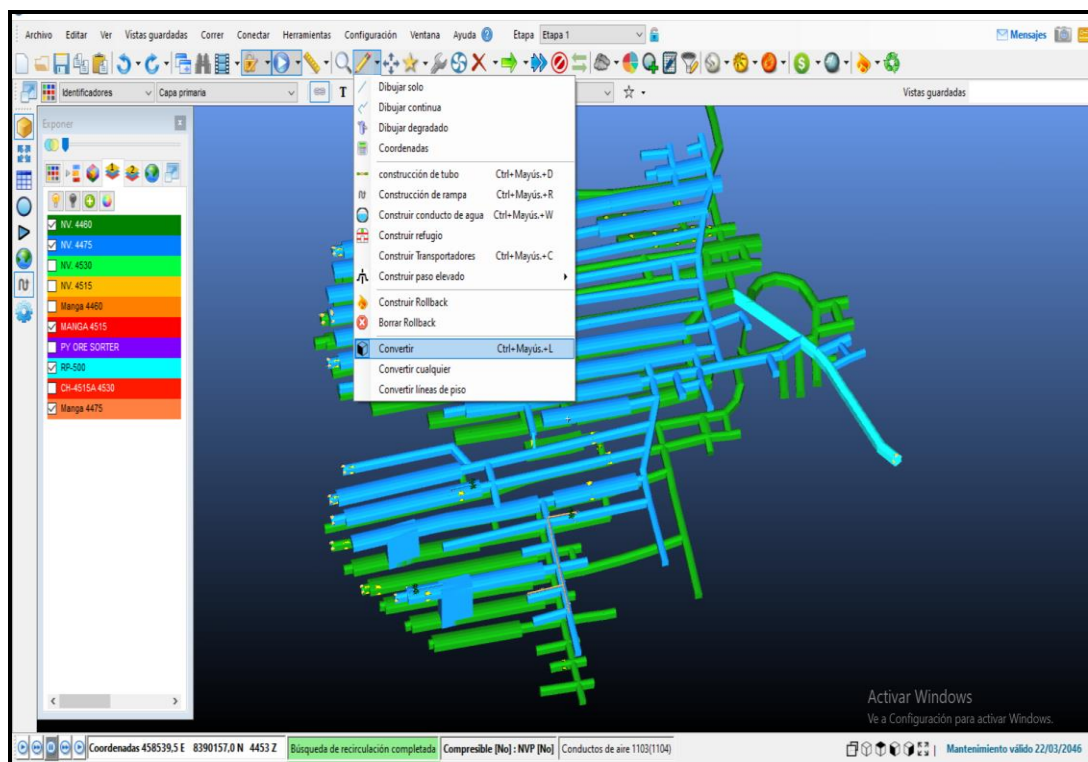


Figura 25. Labores mina cruz de oro configurado en sólido
Fuente: Elaboración propia.

Análisis y evaluación del nuevo diseño del sistema de ventilación.

Para la evaluación del nuevo sistema de ventilación se introdujo al programa ventsim los datos el estado actual del sistema de ventilación en mina para analizar y diseñar el nuevo sistema.

Tabla 30*Análisis de velocidades con labores conectadas a superficie.*

Análisis de Velocidades con labores conectadas a superficie										
N°	Estado	Nivel	Labor	Ancho (m)	Altura (m)	Área (m²)	Vel. prom (m/s)	Vel. prom (m/min)	Q (m³/min)	Q (cfm)
1	Preparación	4475	GL-01E	4,00	4,00	16,00	1,00	60,00	960,00	33 902
2	Preparación	4475	GL-02E	4,00	4,00	16,00	0,70	42,00	672,00	23 732
3	Preparación	4475	GL-03E	4,00	4,00	16,00	0,50	30,00	480,00	16 951
4	Preparación	4475	IN-01	4,00	4,00	16,00	0,10	6,00	96,00	3 390
5	Preparación	4460	GL-01E	4,00	4,00	16,00	0,10	6,00	96,00	3 390
6	Preparación	4460	GL-02E	4,00	4,00	16,00	0,10	6,00	96,00	3 390
7	Preparación	4460	GL-03E	4,00	4,00	16,00	0,10	6,00	96,00	3 390
8	Preparación	4460	IN-02	4,00	4,00	16,00	0,30	18,00	288,00	10 171
9	Preparación	4460	GL-01	4,00	4,00	16,00	0,10	6,00	96,00	3 390

Fuente: Elaboración propia.

Las velocidades como se puede apreciar se encuentra por debajo de 20m/min, por simple hecho de que las galerías se encuentran conectadas a superficie y el extractor extrae el aire fresco de las conexiones a superficie, mas no de la GL-01.

Tabla 31*Análisis de velocidades con labores conectadas a superficie*

Análisis de velocidades con labores conectadas a superficie										
N°	Estado	Nivel	Labor	Ancho (m)	Altura (m)	Área (m²)	Vel. prom (m/s)	Vel. prom (m/min)	Q (m³/min)	Q (cfm)
1	Explotación	4475	GL-01E	4,00	4,00	16,00	0,60	36,00	576,00	20 341
2	Explotación	4475	GL-02E	4,00	4,00	16,00	0,70	42,00	672,00	23 732
3	Explotación	4475	IN-01	4,00	4,00	16,00	0,40	24,00	384,00	13 561
4	Explotación	4460	GL-01E	4,00	4,00	16,00	0,30	18,00	288,00	10 171
5	Explotación	4460	GL-02E	4,00	4,00	16,00	0,40	24,00	384,00	13 561
6	Explotación	4460	IN-01	4,00	4,00	16,00	0,30	18,00	288,00	10 171
7	Explotación	4460	IN-02	4,00	4,00	16,00	0,30	18,00	288,00	10 171

Fuente: Elaboración propia.

En la etapa de explotación sucede lo mismo con las conexiones que se tiene a superficie, el aire ingresa por ello y las velocidades en las galerías GL-01, IN-01 y IN-02 son bajas de la misma, por eso existe acolchonamiento de gases, por ende, supera los límites máximos permisibles.

F. Escenarios de sistema de ventilación con el nuevo diseño.

1. **Preparación de galerías nivel superior e inferior:** Para la preparación de labores se utilizaron ventiladores auxiliares de 30 000 cfm con manga de ventilación de 32 pulgadas de diámetro que inyectan aire fresco, un ventilador independiente para cada nivel. La salida de aire usado es extraída por los ventiladores extractores ya en un 100 %; porque ya no existen las conexiones a superficie.

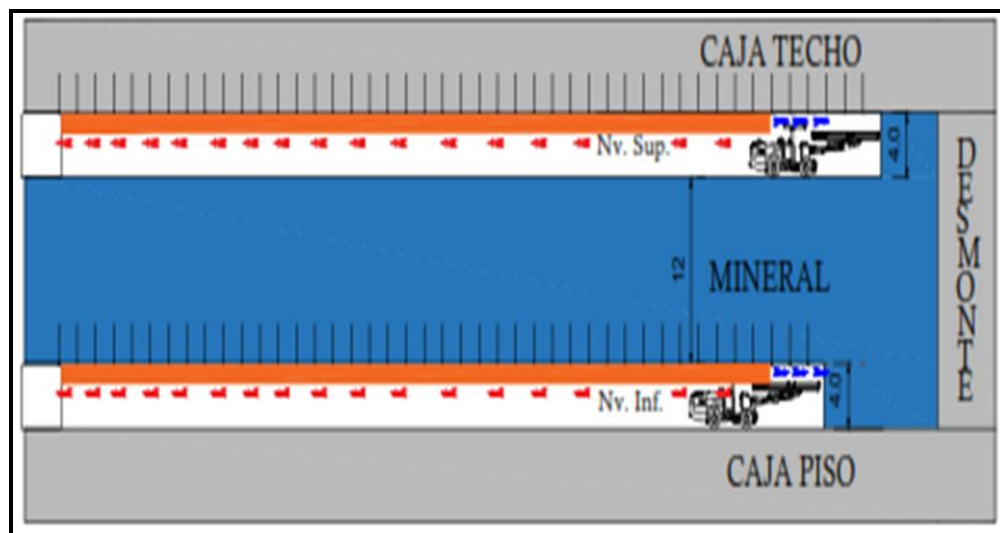


Figura 28. Escenario de preparación de galerías nivel superior e inferior.
Fuente: Elaboración propia.

2. **Galerías sin conexión a superficie, proceso de perforación de taladros largos:** El sistema de ventilación es lo mismo para la perforación de taladros largos, ambos niveles con ventiladores auxiliares y la extracción de aire usado es por ventiladores extractores.

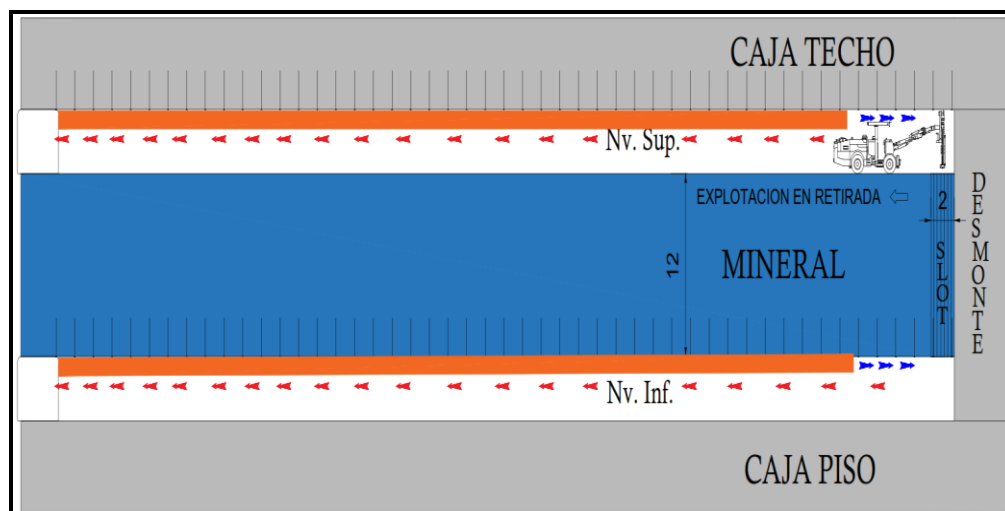


Figura 29. Escenario de galerías sin conexión a superficie.
Fuente: Elaboración propia.

3. **Galerías sin conexión a superficie, proceso de perforación de taladros largos:** El ingreso de aire fresco es por el nivel inferior, subiendo por el slot del tajo y la salida por el nivel superior forzado por el ventilador extractor de 60 000 cfm ubicado en el nivel superior. El circuito de ventilación es definido; así mismo, la velocidad es mayor a 20m/min y la concentración de gases dentro de los límites máximos permisibles.

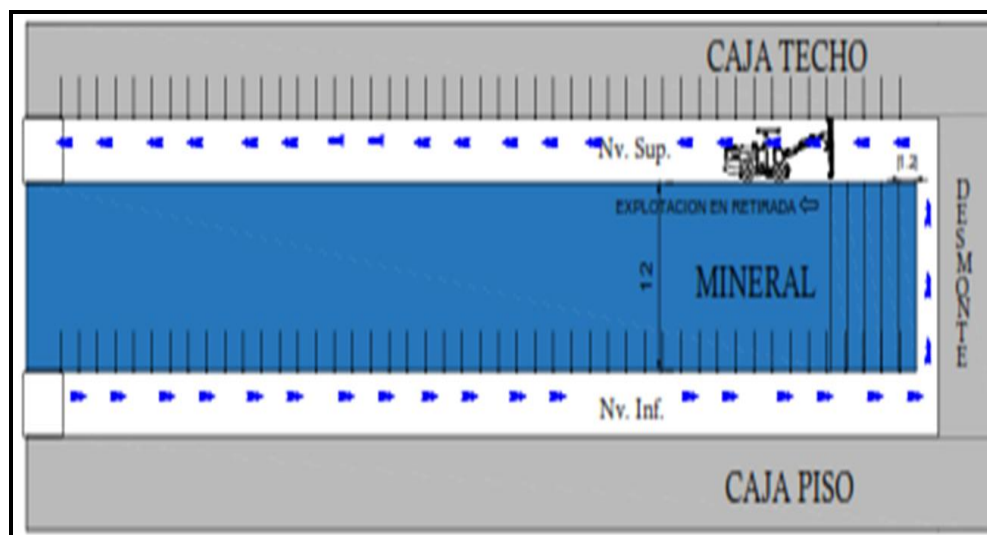


Figura 30. Escenario de galerías sin conexión a superficie, perforación taladros largos

Fuente: Elaboración propia.

4. Galerías sin conexión a superficie, proceso de limpieza de mineral:

El ingreso de aire fresco es por el nivel inferior y la salida de aire usado es por el nivel superior, se tiene un circuito de ventilación definida, de la misma forma la velocidad es mayor a 20m/min, la concentración de gases donde trabajan los equipos están por debajo de los límites máximos permisibles.

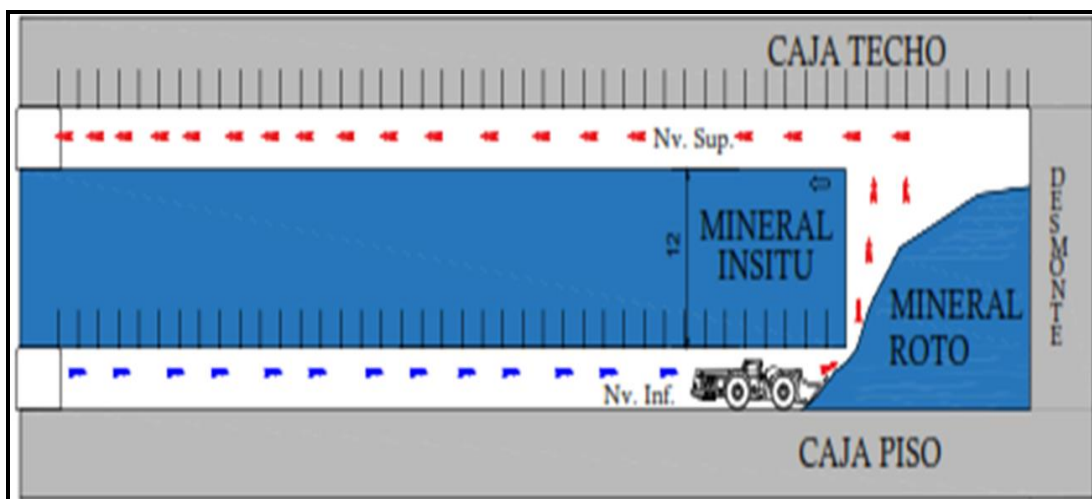


Figura 31. Escenario de galerías sin conexión a superficie, limpieza de mineral.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 32
 Monitoreo de gases en labores de avance y producción (a)

Monitoreo de gases de las labores de avance y de producción													
N°	Nivel	Labor	Sentido	abr-21				may-21				Vel. prom (m/min)	Q (cfm)
				CO (ppm)	NO ₂ (ppm)	O (%)	CO ₂ (ppm)	CO (ppm)	NO ₂ (ppm)	O (%)	CO ₂ (ppm)	Vel. prom (m/min)	Q (cfm)
1	4475	INC - K	Avance	9,17	0,00	20,78	0,03	4,13	0,02	18,06	0,03	25,20	14 027,90
2	4475	GL-19E	Avance	4,33	0,00	20,80	0,03	5,10	0,01	18,05	0,03	30,00	15 598,39
Total				6,75	0,00	20,79	0,03	4,61	0,01	18,06	0,03	27,60	14 813,14

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 33*Monitoreo de gases en labores de avance y producción (b)*

Monitoreo de gases de las labores de avance y de producción													
Ítem	Nivel	Labor	Sentido	abr-21				may-21				Vel. prom (m/min)	Q (cfm)
				CO (ppm)	NO ₂ (ppm)	O (%)	CO ₂ (ppm)	CO (ppm)	NO ₂ (ppm)	O (%)	CO ₂ (ppm)	Vel. prom (m/min)	Q (cfm)
1	4460	RP-CAR	Avance	5,60	0,01	20,79	0,03	3,87	0,01	18,06	0,03	52,60	30 423,27
2	4460	GL-19W	Avance	6,73	0,01	20,80	0,03	5,45	0,02	18,06	0,03	28,20	16 361,19
3	4460	INC-K	Avance	4,07	0,00	20,79	0,02	4,26	0,01	18,05	0,04	23,80	13 618,18
4	4460	RP-501	Avance	1,43	0,01	20,80	0,02	4,39	0,02	17,40	0,02	27,27	14 160,74
5	4460	TJ-15	Producción	9,67	0,04	20,53	0,05	4,68	0,01	17,39	0,02	51,07	29 430,18
6	4460	TJ-01	Producción	9,50	0,08	20,54	0,05	4,55	0,01	17,38	0,04	47,00	27 156,53
Total				6,17	0,02	20,71	0,03	4,53	0,02	17,72	0,03	38,32	21 858,35

Fuente: Elaboración propia.

CUADROS COMPARATIVOS DE MONITOREO DE GASES EN LABORES PRINCIPALES DE LA MINA CRUZ DE ORO

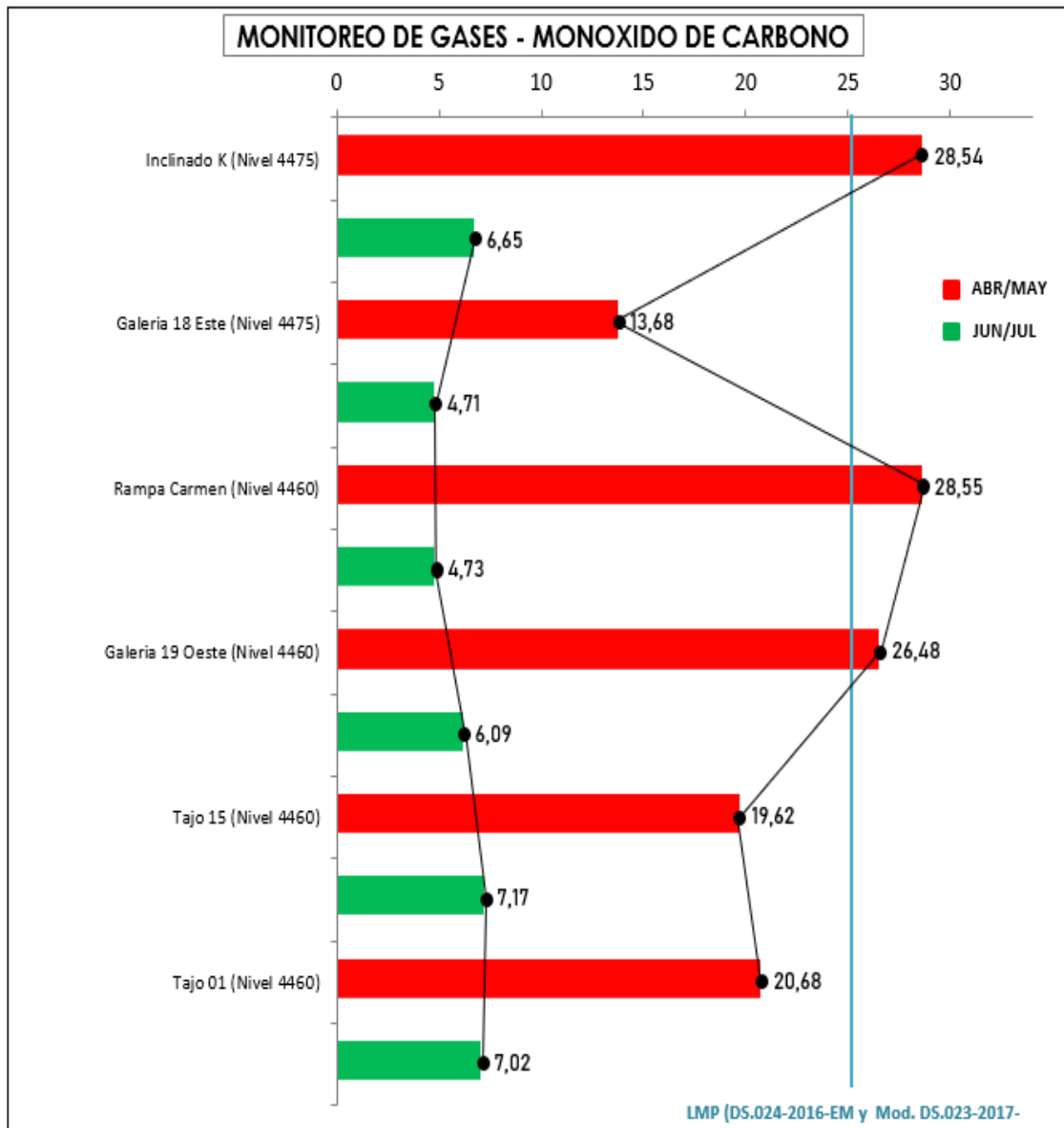


Figura 32. Cuadro de comparación de monitoreo de gases monóxido de carbono (CO)
Fuente: Elaboración propia.

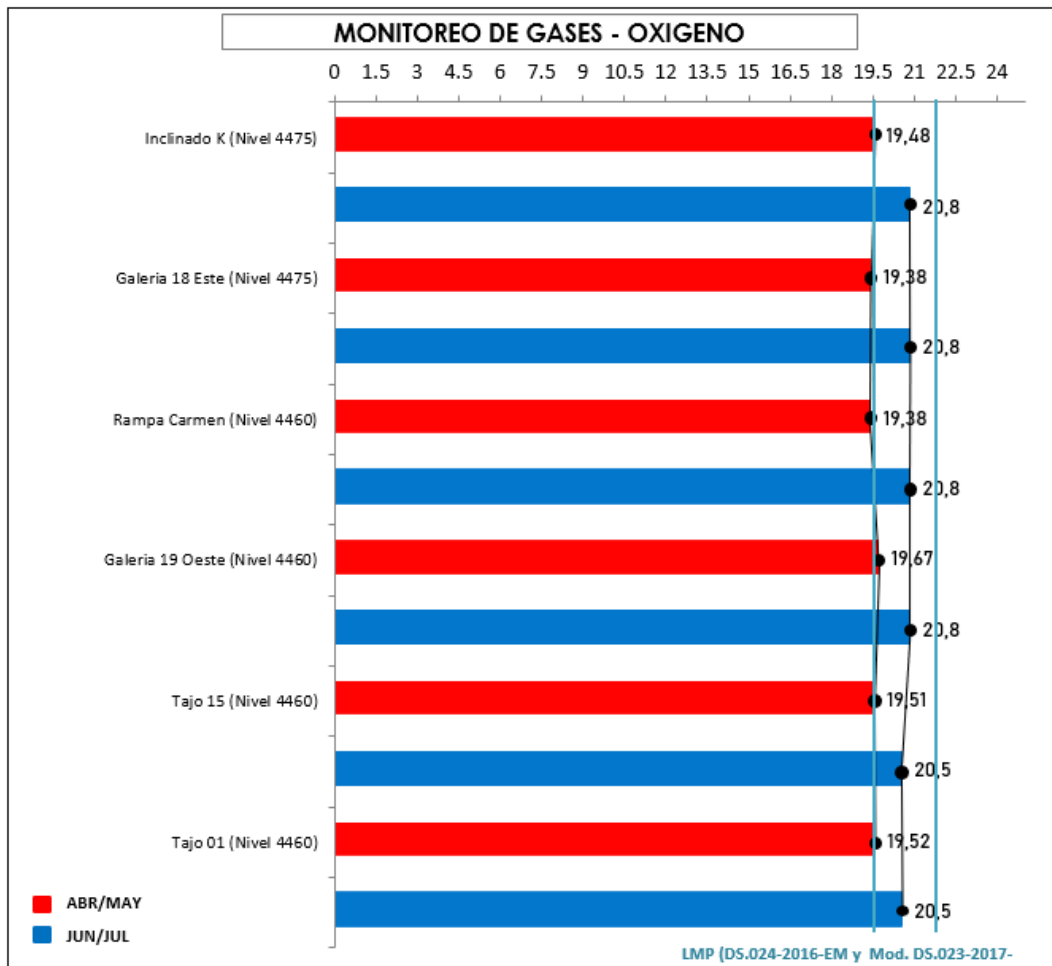


Figura 33. Cuadro de comparación de monitoreo de gases oxígeno (O)
Fuente: Elaboración propia.

Como podemos ver en las figuras 32 y 33, el monitoreo de monóxido de carbono (CO) tenemos en promedio 28,55 ppm en las labores, en cuanto al monitoreo en el oxígeno (O) tenemos promedios de 19,38 %, una vez aplicado el nuevo sistema de ventilación se ha obtenido nuevos resultados los cuales brindan el ambiente adecuado para realizar trabajos en mina, en cuanto al monóxido de carbono (CO) en promedio el

pico más alto es de 7,17 ppm y el oxígeno (O) las labores cuentan con 20,5 % y 20,8 %, estando estos dentro de los límites máximos permisibles acorde al reglamento minero DS. 024-2016-EM y su modificatoria DS. 023-2017-EM.

A. Nuevo sistema de ventilación planteado nivel 4475 y 4460

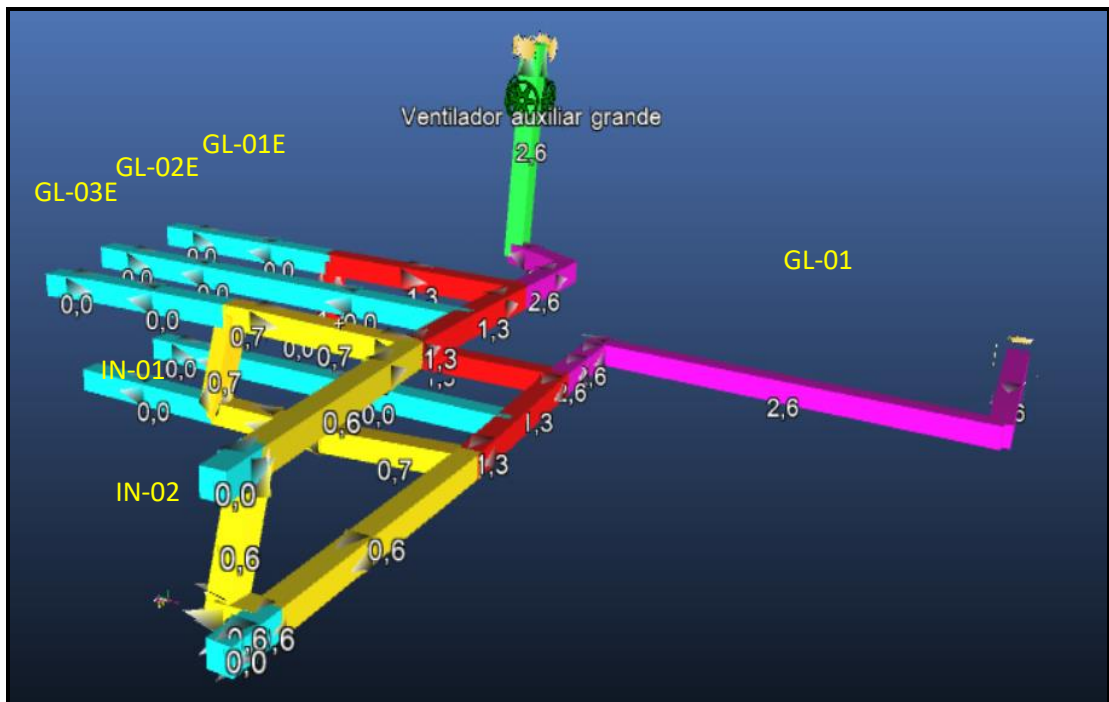


Figura 34. Simulación del nuevo diseño del sistema de ventilación.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 34*Análisis de velocidades con labores sin conexión a superficie.*

Análisis de velocidades con labores sin conexión a superficie										
N°	Estado	Nivel	Labor	Ancho (m)	Altura (m)	Área (m ²)	Vel. prom (m/s)	Vel. prom (m/min)	Q (m ³ /min)	Q (cfm)
1	Preparación	4475	GL-01E	4,00	4,00	16,00	1,30	78,00	¹ 248,00	44 073,00
2	Preparación (paralizado)	4475	GL-02E	4,00	4,00	16,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	Preparación	4475	GL-03E	4,00	4,00	16,00	0,70	42,00	672,00	23 732,00
4	Preparación	4475	IN-01	4,00	4,00	16,00	0,60	36,00	576,00	20 341,00
5	Preparación	4460	GL-01E	4,00	4,00	16,00	1,30	78,00	¹ 248,00	44 073,00
6	Preparación (paralizado)	4460	GL-02E	4,00	4,00	16,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	Preparación	4460	GL-03E	4,00	4,00	16,00	0,70	42,00	672,00	23 732,00
8	Preparación	4460	IN-02	4,00	4,00	16,00	0,60	36,00	576,00	20 341,00
9	Preparación	4460	GL-01	4,00	4,00	16,00	2,60	156,00	² 496,00	88 146,00

Fuente: Elaboración propia.

Haciendo el análisis con las labores sin conectar a superficie las velocidades aumentan considerablemente en las galerías.

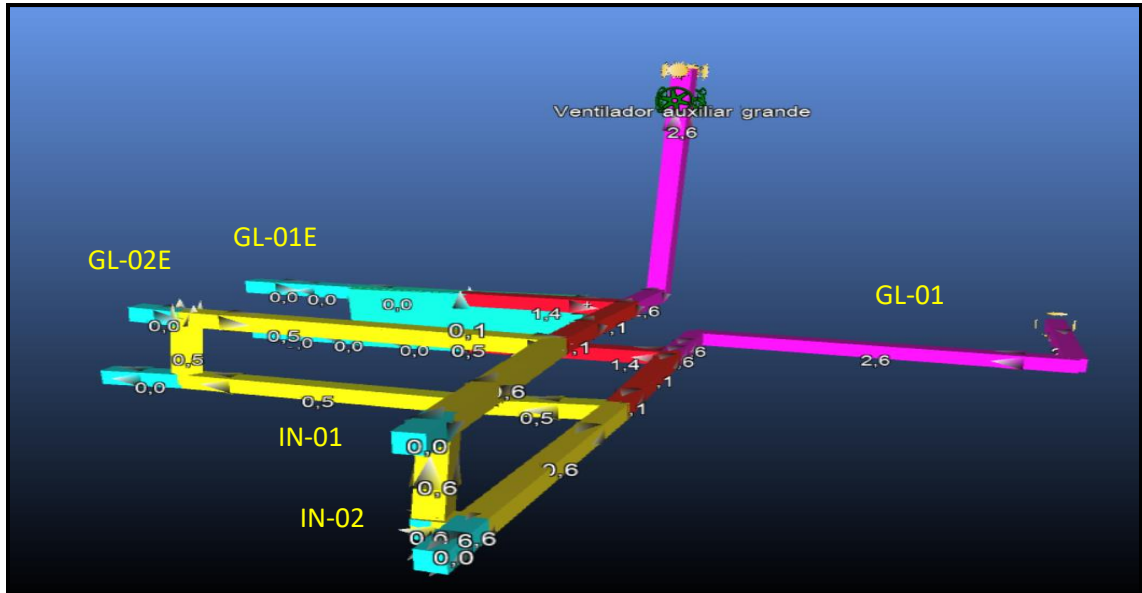


Figura 35. Simulación del nuevo diseño del sistema de ventilación.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 35
Análisis de velocidades con labores sin conexión a superficie.

Análisis de velocidades con labores sin conexión a superficie										
N°	Estado	Nivel	Labor	Ancho (m)	Altura (m)	Área (m ²)	Vel. prom (m/s)	Vel. prom (m/min)	Q (m ³ /min)	Q (cfm)
1	Explotación	4475	GL-01E	4,00	4,00	16,00	1,40	84,00	¹ 344,00	47 463,00
2	Explotación	4475	GL-02E	4,00	4,00	16,00	0,50	30,00	480,00	16 951,00
3	Explotación	4475	IN-01	4,00	4,00	16,00	0,60	36,00	576,00	20 341,00
4	Explotación	4460	GL-01E	4,00	4,00	16,00	1,40	84,00	¹ 344,00	47 463,00
5	Explotación	4460	GL-02E	4,00	4,00	16,00	0,50	30,00	480,00	16 951,00
6	Explotación	4460	IN-01	4,00	4,00	16,00	0,60	36,00	576,00	20 341,00
7	Explotación	4460	GL-01	4,00	4,00	16,00	2,60	156,00	² 496,00	88 146,00

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al análisis realizado se replantea el nuevo diseño del sistema de ventilación y realizar las simulaciones colocando los tapones herméticos en la conexión de labores a superficie, donde se mejora la velocidad de aire en las labores, creando un circuito de ventilación definida, de la misma forma se evita la recirculación de aire viciado.

CUADRO COMPARATIVO DE VELOCIDAD DE AIRE ANTES Y DESPUÉS

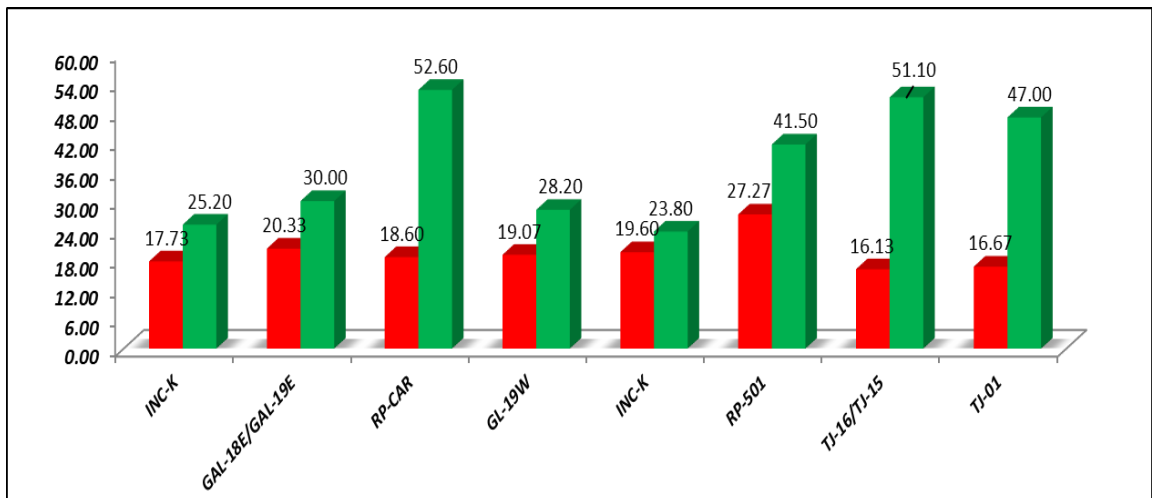


Figura 36. Cuadro comparativo de velocidad de aire antes y después.
Fuente: Elaboración propia.

Como podemos ver al inicio la medición de velocidad de caudal de aire en los frentes de avance y producción están por debajo de los mínimos requeridos por ley, una vez aplicado el nuevo sistema de

ventilación podemos ver que el 100 % de las labores superan los límites requeridos acorde al DS. 024-2016-EM y modificatoria DS. 023-2017-EM.

4.3.6. Análisis y caracterización de los ventiladores

Para los ventiladores se solicitó al proveedor las curvas de los ventiladores; ventiladores de 60kcfm y ventiladores de 30Kcfm. Las curvas de los ventiladores se insertaron al ventsim y son instalados en campo de acuerdo a la necesidad operativa, para que pueda cumplir las velocidades en la labor y evitar concentración de gases por encima de los LMP.

- a. Ventiladores de 60Kcfm instalados en el nivel superior:** En total se instalaron cuatro ventiladores extractores de 60Kcfm de capacidad cada uno, el cual se muestran en la siguiente imagen con su curva característica del ventilador.

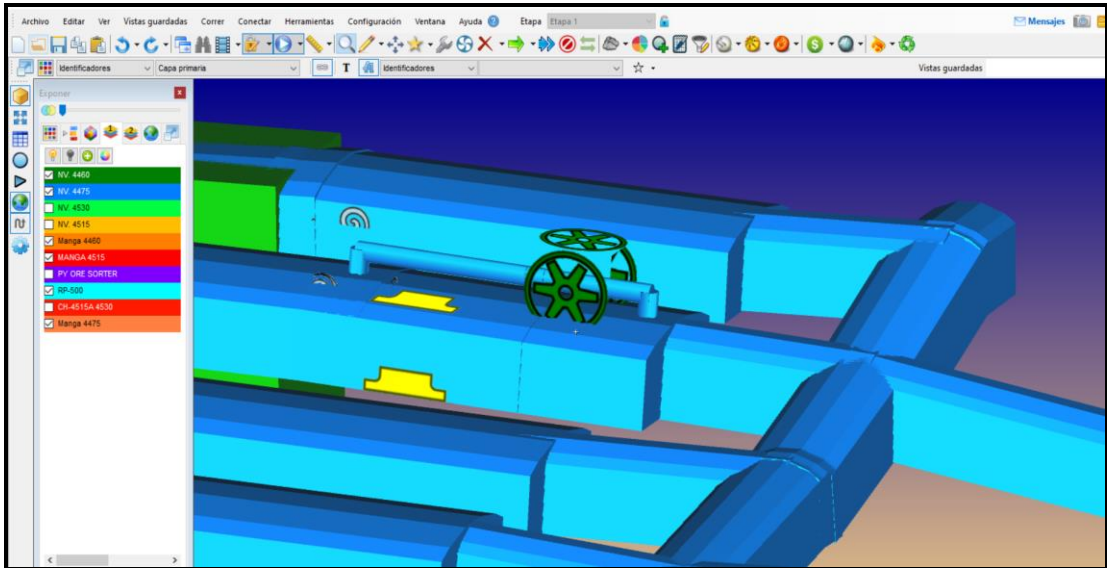


Figura 37. Simulación de ventilador de 60Kcfm.

Fuente: Elaboración propia.

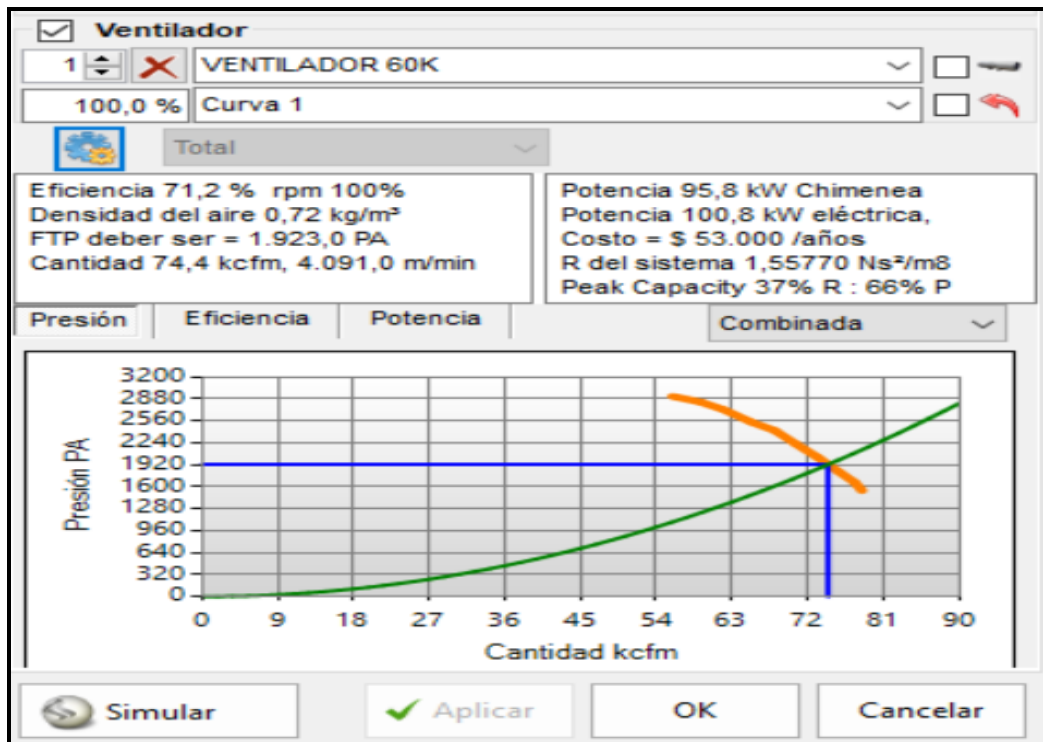


Figura 38. Curva característica del ventilador de 60Kcfm

Fuente: Tomocorp.

- b. **Ventiladores de 30Kcfm instalados para las labores de preparación:** En total se instalaron 04 ventiladores auxiliares impelentes de 30Kcfm de capacidad cada uno, estos ventiladores son para las labores de preparación, por lo general 03 están operativos y uno apagado de acuerdo a la necesidad operativa. Así mismo se muestra la imagen y curva característica.

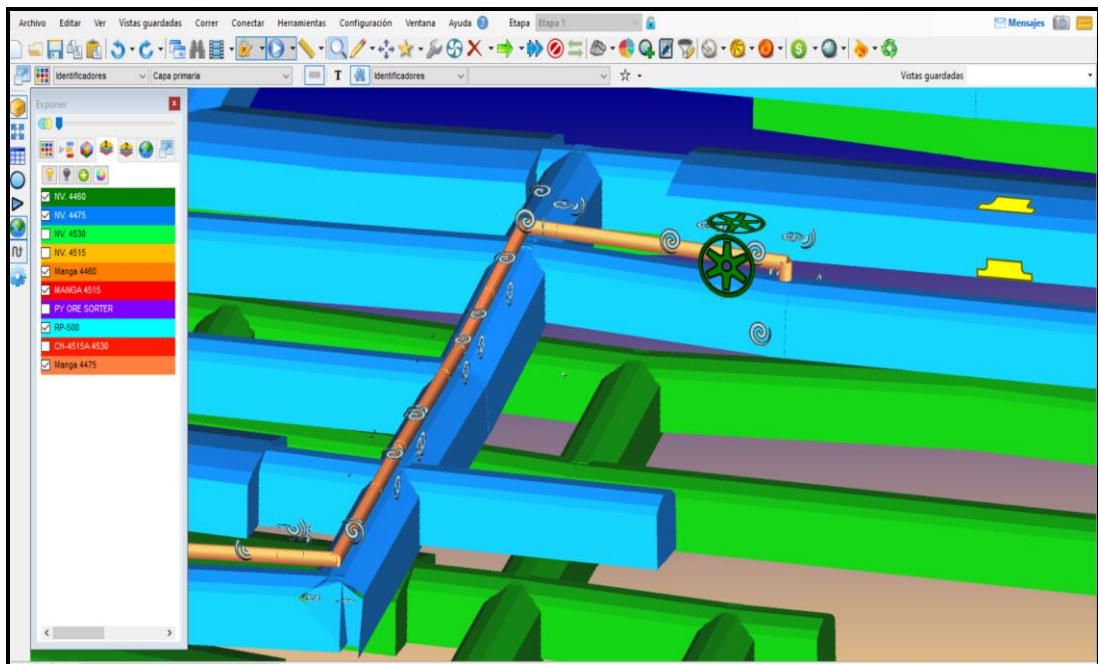


Figura 39. Simulación de ventilador de 30Kcfm.
Fuente: Elaboración propia.

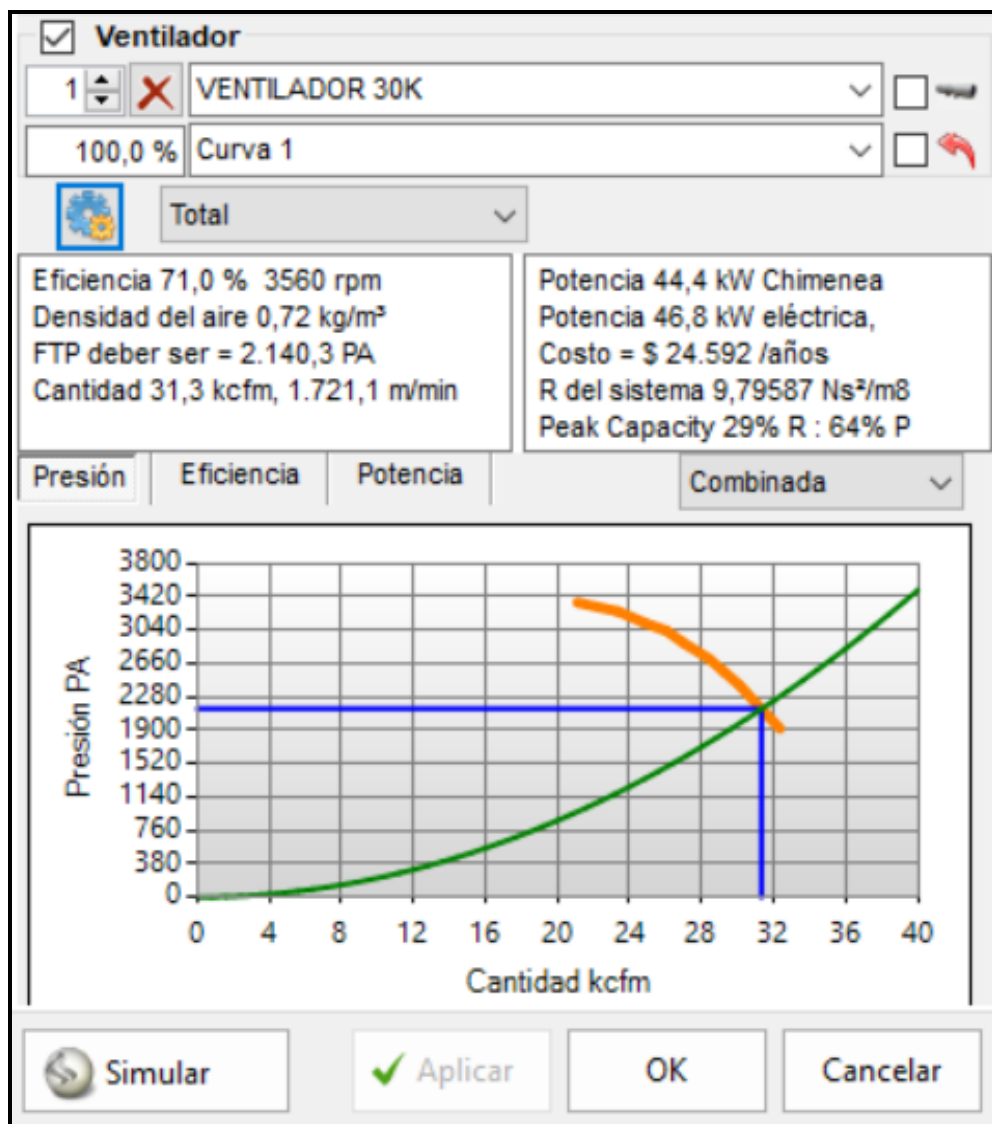


Figura 40. Curva característica de ventilador de 30Kcfm.
Fuente: Tomocorp.

c. Inventario de ventiladores implementados en el proyecto.

Tabla 36

Inventario final de ventiladores mina cruz de oro.

INVENTARIO DE VENTILADORES SECUNDARIOS Y AUXILIARES - MINA CRUZ DE ORO								
N°	Código	Marca	Q (CFM)	Ubicación (Labor)	Nivel	Posición	Zona o labores que ventila	Condición
1	V-1	Airtec	60 000	GL-02E	4475	Extractor	Extractor del Nivel 4460 y 4475	Operativo
2	V-4	Tomocorp	60 000	GL-14E	4475	Extractor	Extractor del Nivel 4460 y 4475	Operativo
3	V-6	Tomocorp	30 000	GL-16E	4475	Impelente	Impelente al IN-K, GL-18E, GL-16E	Operativo
4	V-7	Tomocorp	30 000	INC-K	4460	Impelente	Impelente al IN-K, GL-19W	Operativo
5	V-8	Tomocorp	30 000	RP-CARMEN	4460	Impelente	Impelente a la RP-CARMEN	Operativo
6	V-9	Airtec	30 000	RP-501	4460	Impelente	Impelente a la RP-501	Operativo
7	V-10	Tomocorp	60 000	GL-06E	4475	Extractor	Extractor del Nivel 4460 y 4475	Operativo
8	V-11	Tomocorp	60 000	GL-18E	4475	Extractor	Extractor del Nivel 4460 y 4475	Operativo

Fuente: Elaboración propia.

4.3.7. Resultados del proyecto

- a. **Caudal de aire total requerido:** A continuación, el aire total requerido el cual ya fue calculado, mostramos el resumen general (ver tabla 25).

Tabla 25
Caudal total requerido

Caudal total requerido		
Requerido	Q (m ³ /min)	Q (cfm)
Q ₁ : Personal	270	9 534,78
Q ₂ : Equipos diesel	4 128,52	145 794,55
Q ₃ : Por uso de madera	0,00	0,00
Q ₄ : Temperatura en labores	0,00	0,00
Q _{Fu} : Por fugas	659,78	23 299,47
Q ₁ +Q ₂ +Q ₃ +Q ₄ +Q _{Fu}	5 058,3	178 628,80

Fuente: Elaboración propia.

Aplicando el nuevo diseño de ventilación con el programa ventsim visual, mostramos el balance de cobertura final

Tabla 37
Balance de cobertura final

Balance total de aire mina cruz de oro		
Distribución de aire	m³/min	cfm
Total, de aire requerido	5 058	178 629
Ingreso de aire	7 718	272 561
Salida de aire	7 966	281 334
Cobertura (%)		152,6
Superávit (cfm)		93 932

Fuente: Elaboración propia.

Como podemos ver nuestro caudal de ingreso supera una cobertura del 152,6 % con respecto al caudal requerido el cual en el anterior sistema de ventilación se tenía problemas de acolchonamiento de gases.

- b. Balance de ingreso y salida de aire en mina cruz de oro aplicando el software ventsim visual:** Como podremos evidenciar en el cuadro en adelante (tabla 38) tenemos un ingreso de 272 561 cfm y una salida de 281 334 cfm el cual tendría una variación del 3 % encontrándose este dentro de los límites mínimos y máximos permisibles por el DS. 024-2016-EM y modificatoria DS. 023-2017-EM.

Tabla 38*Balance de ingreso de aire mina cruz de oro.*

Ingreso caudal de aire														
Ítem	E	Sentido	Nivel	Labor	T° (°C)	HR %	Ancho (m)	Altura (m)	Factor de área	Área (m²)	Vel. prom (m/s)	Vel. prom (m/min)	Q (m³/ min)	Q (cfm)
1	EPM-1	Ingreso	4475	RP-500.1	7,00	78,80	5,20	5,35	1,00	27,82	4,12	247,5	6 884,52	243 127
2	EPM-6	Ingreso	4475	GL-05E	8,27	87,70	4,50	4,00	0,95	17,10	0,19	11,5	197,22	6 965
3	EPM-14	Ingreso	4475	GL-13E	8,20	89,00	4,00	4,01	1,00	16,04	0,36	21,5	344,33	12 160
4	EPM-15	Ingreso	4475	GL-12E	9,03	83,32	4,10	4,00	1,00	16,40	0,30	17,8	291,92	10 309
Total													7 718,0	272 561

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 39*Balance de salida de aire mina cruz de oro.*

Salida de caudal de aire														
Ítem	E	Sentido	Nivel	Labor	T° (°C)	HR %	Ancho (m)	Altura (m)	Factor de área	Área (m ²)	Vel. prom (m/s)	Vel. prom (m/min)	Q (m ³ /min)	Q (cfm)
1	EPM-12	Salida	4475	TJ-18E	8,74	89,46	4,00	3,95	0,95	15,01	1,09	130,80	2 079,78	73 447
2	EPM-13	Salida	4475	GL-14E	9,00	94,09	4,31	4,00	0,95	16,38	2,05	122,7	2 010,13	70 988
3	EPM-17	Salida	4475	GL-06E	9,98	80,40	4,33	4,00	0,95	16,45	1,97	118,5	1 949,25	68 838
4	EPM-18	Salida	4475	GL-02E	11,90	81,70	4,00	3,95	0,95	15,01	2,14	128,4	1 927,28	68 062
Total													7 966,4	281 334

Fuente: Elaboración propia.

c. **Balance general de aire:** A continuación, mostramos como resultado el balance general de aire de la mina Cruz de Oro.


 Balance General de aire de Mina U. E. A: Cori Riqueza S.A.C. NIVEL: 4460-4475-4511 HORA : 10:25 a. m. ZONA: Cruz de Oro TURNO: Día FECHA: 06/02/2020						
I. Parámetros de cálculo						
Nº	Ítem	Unidad	Simbología	Valor		
1	Cota de trabajo	msnm	c	4460-4475		
2	Caudal requerido por hombre	m3/min	F	6		
3	Número de trabajadores por guardia	unidad	N	45		
4	Producción por guardia	TMH/guardia	T	1000		
5	Consumo de madera	%	CM	0		
6	Factor de producción	m3/min	u	0		
7	Temperatura seca	T°	T°	8.90		
8	Velocidad mínima según temperatura	m/min	Vm	0		
9	Número de nivel con T° mayor a 23°		N	0		
10	Sección promedio de la labor	m2	A	18.60		
11	Potencia equipos motor diesel	hp	HP	2831		
12	Factor de utilización promedio	%	FU	0.48		
13	Disponibilidad mecánica	%	Dm	0.86		
14	Caudal requerido por HP	m3/min	HP	3		
15	Factor de corrección por altura	%	FA	0.85		
16	Caudal de ingreso	m3/min	Qi	9,612.8		
17		cfm	Qi	339,474.5		
18	Caudal requerido	m3/min	Qr	5,058.3		
19	Cobertura (Qi/Qr) x 100	%	C	190.0		
II. Determinación de caudal requerido						
2.1 Por el número de personal (Qtr)						
$Q_{tr} = F \times N \text{ (m}^3/\text{min)}$		$N^{\circ} \text{ personas} = 42$ $F = 6 \text{ m}^3/\text{min}$		Caudal	m3/min	cfm
				Qtr	270	9,535
2.2 Por el uso de madera (Qma)						
$Q_{ma} = T \times u \text{ (m}^3/\text{min)}$				Caudal	m3/min	cfm
				Qma	0.0	0.0
2.3 Por temperatura en las labores de trabajo (Qte)						
$Q_{te} = V_m \times A \times N \text{ (m}^3/\text{min)}$				Caudal	m3/min	cfm
				Qte	0.0	0.0
2.4 Para operación de equipos diesel (Qeq)						
Cant.	Equipo	HP	FU	DM	HP Efectivo	Observaciones
1.00	Scooptram 6yd3	0	0.00	0.00	0	0.0000
1.00	Scooptram 6yd3	0	0.00	0.00	0	0.0000
1.00	Scooptram 6yd3	0	0.00	0.00	0	0.0000
1.00	Simba S1D	0	0.00	0.00	0	0.0000
1.00	Jumbo Frontonero S1D	0	0.00	0.00	0	0.0000
1.00	Jumbo Frontonero S1D	0	0.00	0.00	0	0.0000
1.00	Jumbo Empernador Bolter	0	0.00	0.00	0	0.0000
1.00	Jumbo Empernador Bolter	0	0.00	0.00	0	0.0000
1.00	Scaler	0	0.00	0.00	0	0.0000
1.00	Telehandler	0	0.00	0.00	0	0.0000
1.00	Volquete	0	0.00	0.00	0	0.0000
1.00	Volquete	0	0.00	0.00	0	0.0000
1.00	Volquete	0	0.00	0.00	0	0.0000
1.00	Volquete	0	0.00	0.00	0	0.0000
$Q_{eq} = 3 \times HPs \times D_m \times F_u \text{ (m}^3/\text{min)}$				Caudal	m3/min	cfm
				Qeq	4,128.52	145,795
				Qt	4398.52	155,330
2.5 Por fugas (Qfu)						
$Q_{fu} = 15\% \times Q_t \text{ (m}^3/\text{min)}$				Caudal	m3/min	cfm
				Q5	659.78	23,299
2.6	Caudal total	Qtr+Qma+Qte+Qeq+Qfu			5,058.3	178,629
2.7	Caudal requerido				5058.3	178,629
III. Cobertura del sistema (C)				Caudal de ingreso(cfm)		339,475
				Caudal requerido(cfm)		178,629
				Cobertura (%)		190.0
IV. Observaciones						

Figura 41. Balance general de aire mina cruz de oro.
Fuente: Elaboración propia.

- d. **Análisis de recirculación de aire usado:** el software ventsim visual te permite evaluar y visualizar la zona de recirculación de aire usado, mostrando en el gráfico, no se evidencia recirculación de aire usado con el diseño nuevo del sistema de ventilación.

- e. **Análisis de recirculación inicial:** para determinar la recirculación en el sistema de ventilación inicial se presenta en dos puntos; en el nivel 4460 RP-CARMEN; así mismo en el nivel 4475 IN-I y GL-16E, como se muestra en la figura 42 y 43. Por otro lado, también en los ventiladores extractores existe recirculación en menor porcentaje, por deficiencias en el hermetizado.

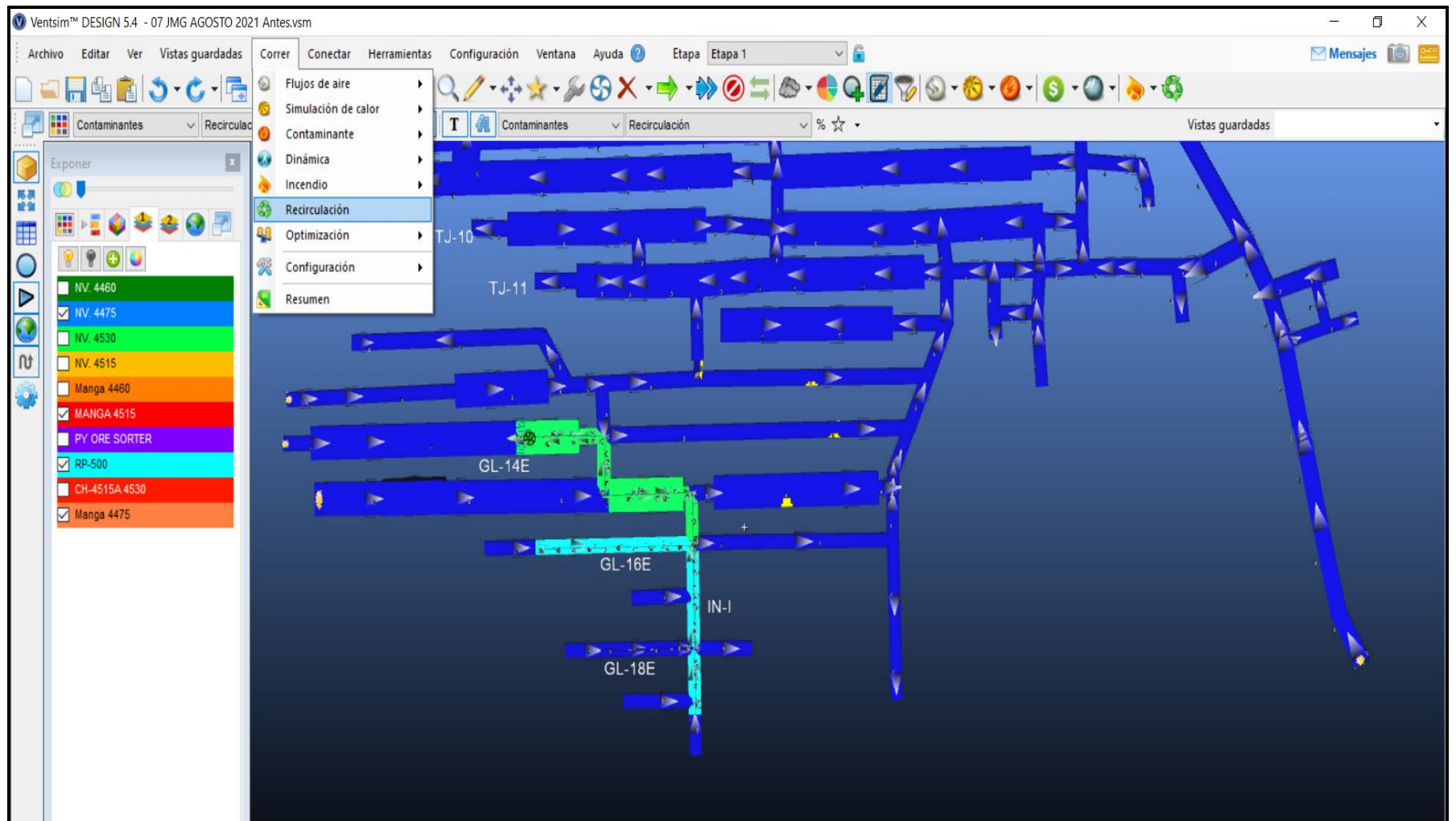


Figura 42. Análisis de recirculación inicial nivel 4475.
Fuente: Elaboración propia.

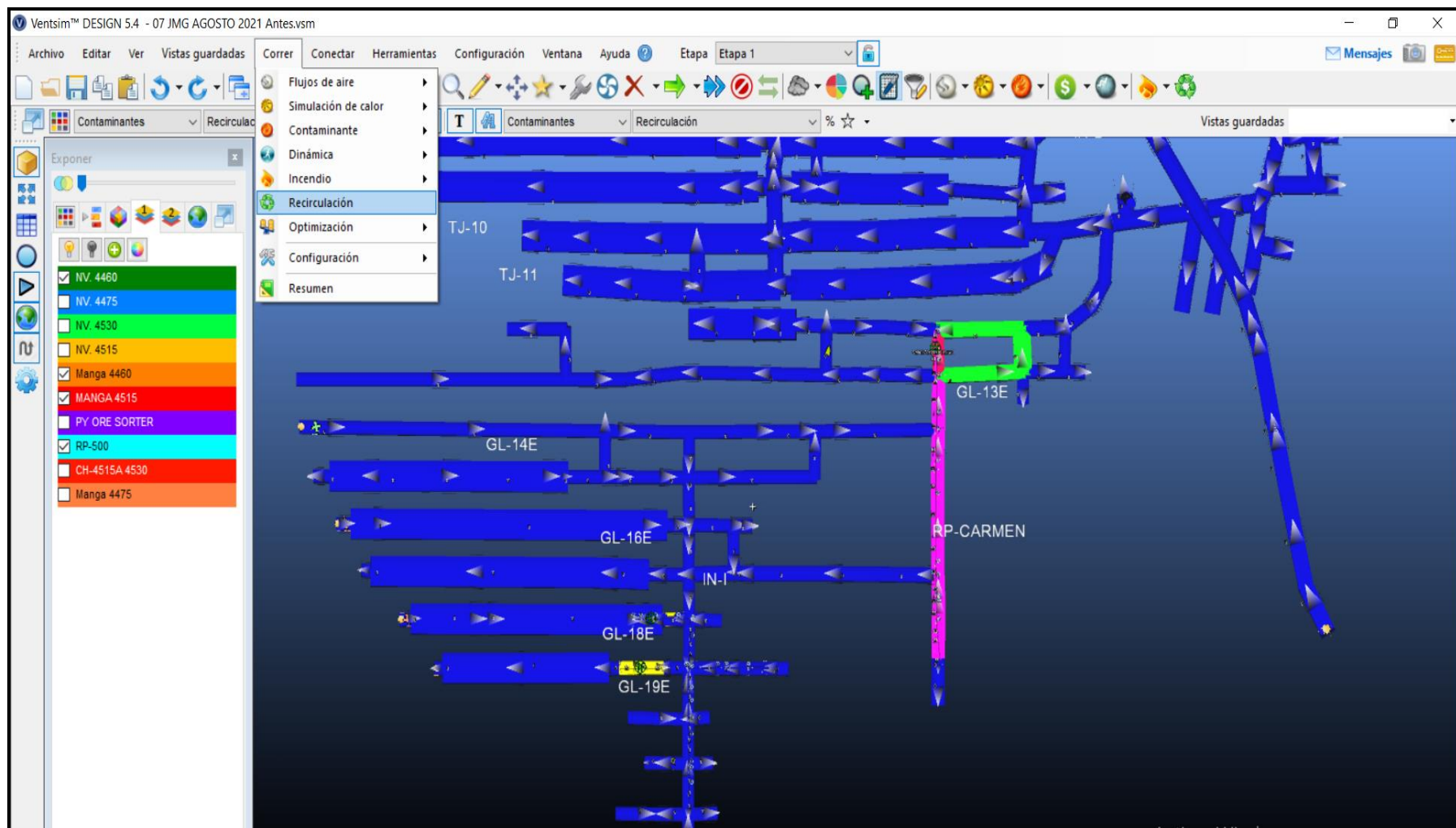


Figura 43. Análisis de recirculación inicial nivel 4460.
Fuente: Elaboración propia.

Como podemos ver en la figura 40 del nivel 4460 se evidencia recirculación de aire entre la rampa carmen, galería 13 y galería 12, evidenciando en los monitoreos de gases niveles por encima de los límites máximos permisibles, a continuación, evidenciamos los monitoreos realizados en dichas labores:

Tabla 40

Monitoreo inicial de gases en labores de recirculación.

Monitoreo de gases en labores de recirculación								
Ítem	Nivel	Labor	CO (ppm)	NO ₂ (ppm)	O (%)	CO ₂ (ppm)	Vel. prom (m/min)	Q (cfm)
1	4460	RP-CARMEN	29	0,00	19,39	0,10	18,60	14 027,90
2	4460	GL-13	25	0,00	19,48	0,09	21,50	12 160
3	4460	GL-12	26	0,03	19,40	0,12	17,80	10 309

Fuente: Elaboración propia.

Art. 246; literal c)

Las labores de entrada y salida de aire deben ser absolutamente independientes. El circuito general de ventilación se debe dividir en el interior de las minas en ramales para hacer que todas las labores en trabajo reciban su parte proporcional de aire fresco, evitando toda

recirculación de aire (DS. 024-2016-EM y su modificatoria DS. 023-2017-EM, p.141).

Art. 246; literal e)

“Los ventiladores principales, secundarios y auxiliares deben ser instalados adecuadamente, para evitar cualquier posible recirculación del air. No está permitido que los frentes de desarrollo, de chimeneas y labores de explotación sean ventiladas con aire usado” (DS. 024-2016-EM y su modificatoria DS. 023-2017-EM, p.142).

El trabajar eficazmente en la recirculación genera un efecto muy seguro en la calidad de actividades para los trabajadores en mina, y existen planes que apoyan a contar con una excelencia de aire y una buena producción a precios más bajos.

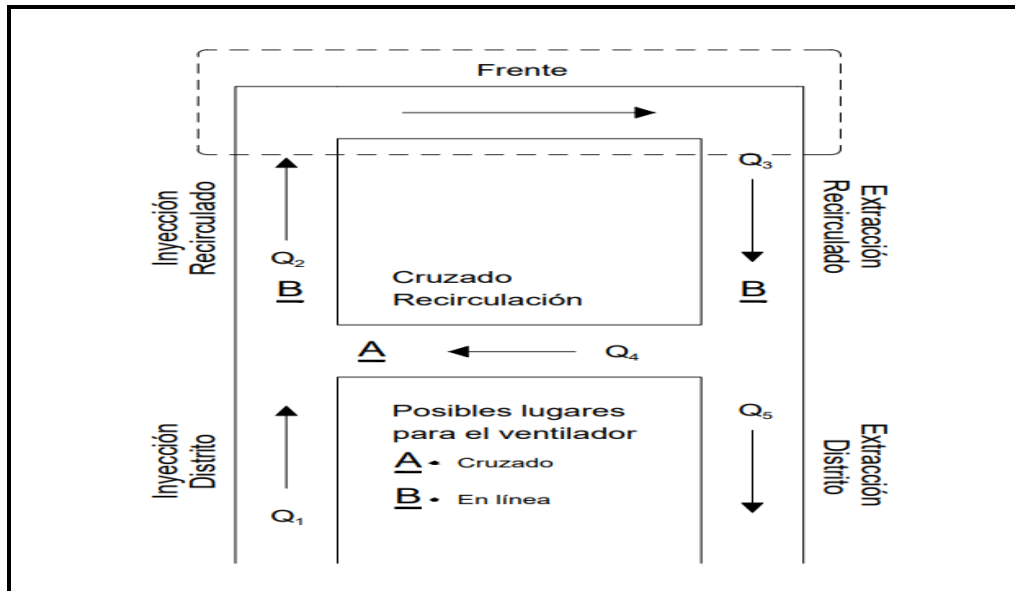


Figura 44. Distrito simple de recirculación.

Fuente: Alejandro G. 2010.

Por los años 1983, se propusieron poner en práctica la recirculación controlada para toda un área o zona integral de una mina, estas conclusiones motivaron que, en el año 1986, donde ya se habían puesto en práctica aquellas propuestas dadas por expertos en su época, arrojaron logros beneficiosos para lo que se buscaba, resultando en el aumento de caudal a las áreas de trabajo.

A continuación, monitoreo de gases posterior a los monitoreos iniciales:

Tabla 41

Monitoreo de gases en labores de recirculación después del nuevo diseño de ventilación.

Monitoreo de gases en labores de recirculación								
Ítem	Nivel	Labor	CO (ppm)	NO ₂ (ppm)	O (%)	CO ₂ (ppm)	Vel. prom (m/min)	Q (cfm)
1	4460	RP-CARMEN	5,60	0,01	20,80	0,03	52,60	30 423,27
2	4460	GL-13	1,00	0,00	20,80	0,00	56,80	32 896,62
3	4460	GL-12	0,00	0,00	20,80	0,01	56,30	32 209,39

Fuente: Elaboración propia.

- f) **Análisis de recirculación con el nuevo diseño del sistema de ventilación:** mostrando en el gráfico, no evidenciamos recirculación de aire usado en el diseño nuevo del sistema de ventilación en ambos niveles, ver figura 45.

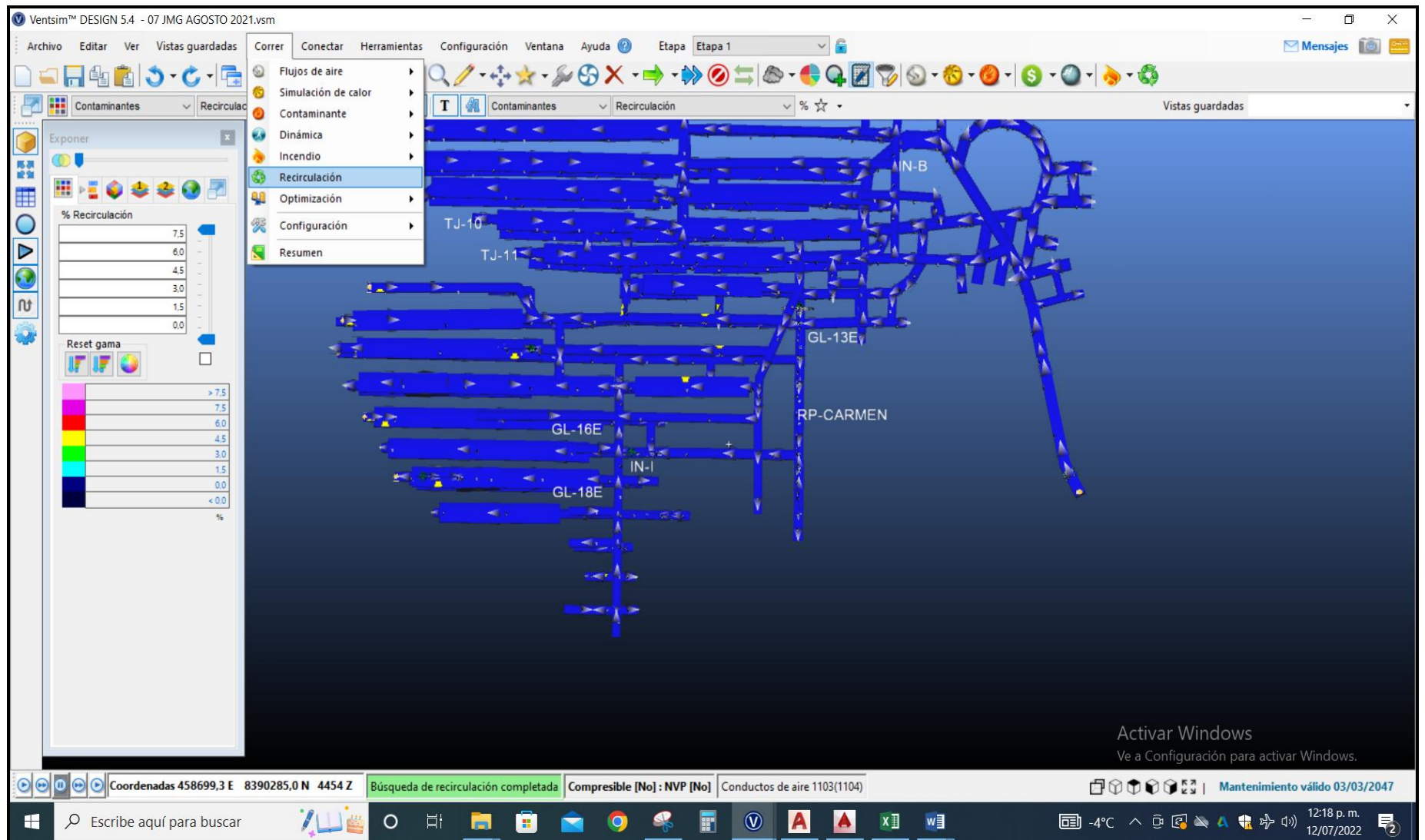


Figura 45. Análisis de recirculación con el nuevo diseño del sistema de ventilación.
Fuente: Elaboración propia.

4.3.8. Discusión de resultados

- *Hipótesis General* “Con el nuevo diseño del sistema de ventilación en los distintos niveles permitirá disipar la presencia de gases nocivos en la mina cruz de oro” Con el nuevo diseño del sistema de ventilación planteado, permitió la dilución de los gases nocivos en los diferentes niveles en la mina Cruz de Oro, en el análisis inicial se tuvo una concentración promedio de monóxido de carbono (CO) 18,45 ppm llegando en labores de avance y producción Nv. 4475 GL-19W 38 ppm, Nivel 4475 INC-K 34 ppm y oxígeno (O) 19,8 % y en labores de avance y producción como Nivel 4475 GL-18E 19 %, Nivel 4460 GL-19W 19,1 % con las mediciones actuales, después del nuevo sistema de ventilación se llegó a una concentración promedio de monóxido de carbono (CO) 6,46 ppm y oxígeno (O) 20,7 %; dando cumplimiento con estos resultados al reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería DS. 024-2016-EM y su modificatoria DS. 023-2017-EM, cumpliendo así con la hipótesis general planteada.
- *Hipótesis específico N° 01* “La evaluación actual de las zonas críticas permitirá diseñar un nuevo sistema de ventilación en los distintos niveles en mina Cruz de Oro” Se realizó un nuevo diseño

del sistema de ventilación en los distintos niveles en mina Cruz de Oro, haciendo uso del ventsim visual 3D, siendo muy útil y necesario esta herramienta para diseñar y optimizar nuevos sistemas de ventilación, garantizando con ello la seguridad y productividad de las operaciones en mina, así mismo esta herramienta nos ayuda a simular y determinar proyectos en el menor tiempo posible, aportando un valor agregado a los ingenieros de ventilación y personal afines, de esta manera la primera hipótesis específico se cumple.

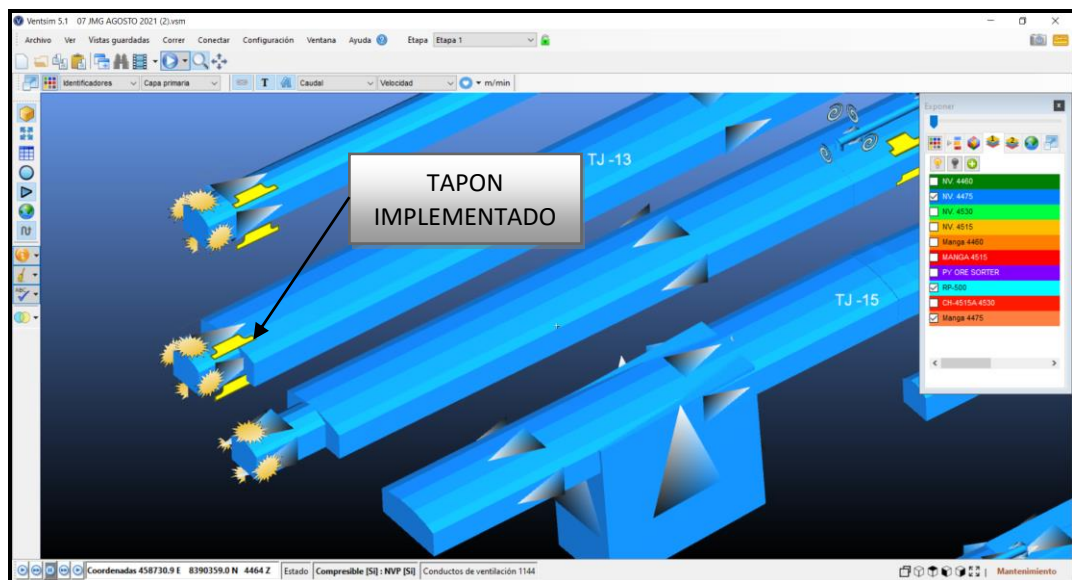


Figura 46. Implementación de tapones herméticos.
Fuente: Elaboración propia.

Como podemos ver en la imagen la importancia de implementar tapones en los espacios abiertos que conectaban a superficie ya que inicialmente al no tener estos tapones el aire que ingresaba sus velocidades no cumplía con las velocidades establecidas de acuerdo a normativa legal DS. 024-2016-EM y su modificatoria DS. 023-2017-EM.

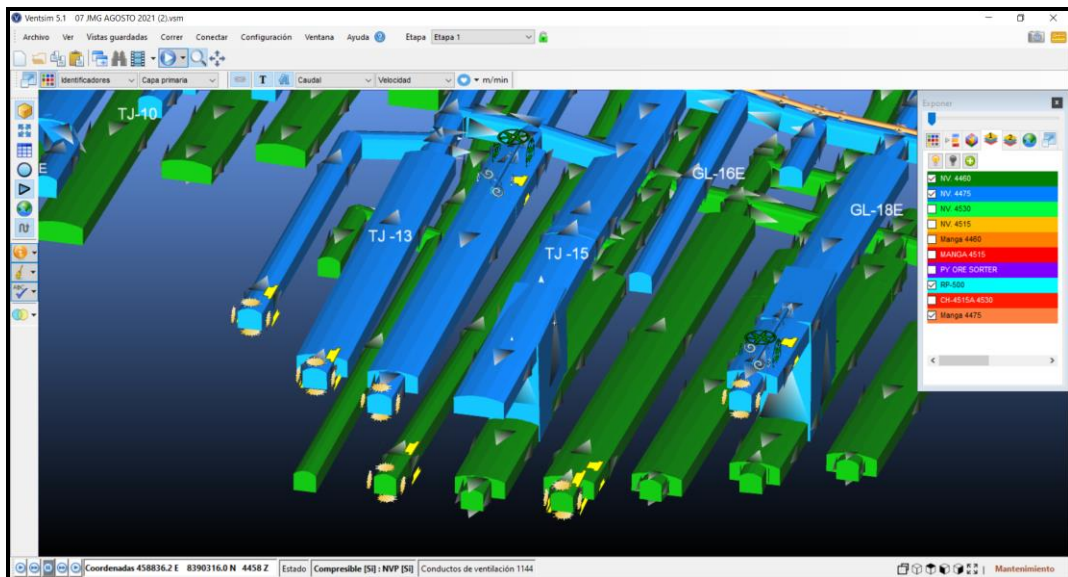


Figura 47. Extracción de aire viciado.

Fuente: *Elaboración propia.*

Como en los escenarios de ventilación ya expuestos en el presente trabajo podemos evidenciar en el Tajo 14 Nv. 4475, el extractor de 60 000 cfm, extrae el 100 % de aire usado de los diferentes tajos en producción los cuales como ya vimos en la imagen anterior aquellas labores que conectan a superficie están con tapón hermético, cumpliendo las

velocidades por encima de los 20 m/min, entonces podemos concluir que las labores son ventiladas con aire fresco y estas están con las velocidades de acuerdo a normativa legal, además que el aire usado es extraído adecuadamente con el nuevo sistema de ventilación.

- Hipótesis específico N° 02 *“Con la instalación de un nuevo sistema de ventilación se reduce la recirculación de aire viciado en los diferentes niveles de la mina Cruz de Oro”* En cuanto a la implementación de un nuevo sistema de ventilación se minimizó la recirculación de aire viciado existentes en el nivel 4460 entre las labores RP-Carmen, GL-13 y GL-12 donde los monitoreos nos daban resultados de CO: 26,66 ppm, y una disminución en el nivel de oxígeno 19,42 % en promedio, además este aire usado con los niveles ya mencionados y los cuales no cumplían con los límites máximos permisibles de acuerdo a ley era inyectado nuevamente hacia las labores de trabajo, por lo que la instalación de este nuevo diseño de ventilación permitió minimizar la recirculación obteniendo resultados promedio en cuanto al CO de 2,2 ppm y oxígeno del 20,8 % cumpliendo lo requerido por ley, es así que se da cumplimiento a la segunda hipótesis específica.

- Hipótesis específico N° 03 “Con el nuevo diseño del sistema de ventilación se logrará disipar los gases nocivos en la mina cruz de oro” La dilución de gases en la mina Cruz de Oro como trabajo necesario para mejorar la calidad de la atmosfera en mina y en consecuencia la de los trabajadores, como podemos evidenciar (ver figura 46) durante el monitoreo de gases realizadas día a día en las diferentes labores principales en mina se tenía el riesgo constante de paralización de labores y riesgo a la salud del personal, mostramos:

MONITOREO DE GASES EN AMBIENTES DE TRABAJO MINA CRUZ DE ORO										
Equipo de Monitoreo: ALTAIR 4XR		Marca: MSA		Serie: VARIOS						
ITEM	CONTRATA	FECHA	TURNO	NIVEL	UBICACIÓN	CO (ppm) LMP (ppm): 25	NO2 (ppm) LMP (ppm): 3	O2 (%) Min (%): 19.5	CO2 (ppm) LMP (ppm): 5000	RESPONSABLE DEL MONITOREO
1	C.M. RUMAGE	01/04/2022	Día	4475	INC-K	29.00	0.00	19.6	0.10	Jander Marrufo G.
2	C.M. RUMAGE	01/04/2022	Día	4475	GL-18E	14.00	0.00	19.7	0.00	Jander Marrufo G.
4	C.M. RUMAGE	01/04/2022	Noche	4460	RP-CAR 2	28.00	0.00	19.3	0.00	Jander Marrufo G.
6	C.M. RUMAGE	01/04/2022	Noche	4460	GL-19W	23.00	0.00	19.5	0.13	Jander Marrufo G.
8	C.M. RUMAGE	01/04/2022	Día	4460	TJ-15	18.00	0.08	19.1	0.03	
9	C.M. RUMAGE	01/04/2022	Noche	4460	TJ-01	21.00	0.15	19.5	0.05	
10	C.M. RUMAGE	02/04/2022	Día	4475	INC-K	34.00	0.00	19.0	0.00	Jander Marrufo G.
13	C.M. RUMAGE	02/04/2022	Noche	4460	RP-CAR 2	32.00	0.00	19.2	0.15	Jander Marrufo G.
15	C.M. RUMAGE	02/04/2022	Día	4460	GL-19W	19.00	0.50	20.1	0.16	Jander Marrufo G.
17	C.M. RUMAGE	02/04/2022	Noche	4460	TJ-15	20.00	0.00	19.5	0.00	
18	C.M. RUMAGE	02/04/2022	Día	4460	TJ-01	24.00	0.08	19.5	0.00	
19	C.M. RUMAGE	03/04/2022	Día	4475	INC-K	25.00	0.10	19.7	0.00	Jander Marrufo G.
20	C.M. RUMAGE	03/04/2024	Noche	4475	GL-18E	15.00	0.00	19.8	0.15	Jander Marrufo G.
22	C.M. RUMAGE	03/04/2022	Noche	4460	RP-CAR 2	29.00	0.00	19.5	0.15	Jander Marrufo G.
24	C.M. RUMAGE	03/04/2022	Día	4460	GL-19W	38.00	0.20	19.1	0.09	Jander Marrufo G.
26	C.M. RUMAGE	03/04/2022	Noche	4460	TJ-15	16.00	0.00	19.6	0.00	
27	C.M. RUMAGE	03/04/2022	Día	4460	TJ-01	19.00	0.12	19.6	0.00	
28	C.M. RUMAGE	04/04/2022	Noche	4475	INC-K	32.00	0.00	19.5	0.10	Jander Marrufo G.
30	C.M. RUMAGE	04/04/2022	Noche	4475	GL-16E	15.00	0.00	19.5	0.03	Jander Marrufo G.
31	C.M. RUMAGE	04/04/2022	Día	4460	RP-CAR 2	29.00	0.00	19.4	0.11	Jander Marrufo G.
33	C.M. RUMAGE	04/04/2022	Día	4460	GL-19W	21.00	0.10	19.5	0.10	Jander Marrufo G.
35	C.M. RUMAGE	04/04/2022	Día	4460	TJ-15	24.00	0.22	19.4	0.08	
36	C.M. RUMAGE	04/04/2022	Noche	4460	TJ-01	18.00	0.00	19.5	0.02	
37	C.M. RUMAGE	05/04/2022	Noche	4475	INC-K	31.00	0.00	19.5	0.13	Jander Marrufo G.
40	C.M. RUMAGE	05/04/2022	Día	4460	RP-CAR 2	32.00	0.00	19.2	0.03	Jander Marrufo G.
42	C.M. RUMAGE	05/04/2022	Noche	4460	GL-19W	35.00	0.00	19.1	0.17	Jander Marrufo G.
44	C.M. RUMAGE	05/04/2022	Día	4460	TJ-15	15.00	0.00	19.5	0.00	
45	C.M. RUMAGE	05/04/2022	Noche	4460	TJ-01	23.00	0.14	19.4	0.08	

Figura 48. Monitoreo de gases en el ambiente mina cruz de oro (a).

Fuente: Elaboración propia.

Como podemos evidenciar en los monitoreos de gases las labores estaban por encima de los límites máximos permisibles, por ende, la necesidad de un cambio en el circuito de ventilación aplicando un nuevo diseño en el sistema de ventilación para una mejor dilución de gases en estas labores, esto consigo trajo nuevos resultados y el cumplimiento a nuestra tercera hipótesis específico:

MONITOREO DE GASES EN AMBIENTES DE TRABAJO MINA CRUZ DE ORO										
Equipo de Monitoreo: ALTAIR 4XR			Marca: MSA			Serie: VARIOS				
ITEM	CONTRATA	FECHA	TURNO	NIVEL	UBICACIÓN	CO (ppm)	NO2 (ppm)	O2 (%)	CO2 (ppm)	RESPONSABLE DEL MONITOREO
						LMP (ppm): 25	LMP (ppm): 3	Min (%): 19.5	LMP (ppm): 5000	
1	C.M. RUMA	01/05/2022	Día	4475	INC-K	12.00	0.00	20.5	0.05	Jander Marrufo G.
2	C.M. RUMA	01/05/2022	Día	4475	GL-19E	6.00	0.00	20.8	0.00	Jander Marrufo G.
4	C.M. RUMA	01/05/2022	Noche	4460	INC-K	1.00	0.00	20.8	0.02	Jander Marrufo G.
6	C.M. RUMA	01/05/2022	Día	4460	RP-501.1	0.00	0.10	20.8	0.02	Jander Marrufo G.
8	C.M. RUMA	01/05/2022	Noche	4460	TJ-01	13.00	0.08	20.5	0.03	Jander Marrufo G.
9	C.M. RUMA	02/05/2022	Día	4475	INC-K	10.00	0.00	20.5	0.00	Jander Marrufo G.
10	C.M. RUMA	02/05/2022	Día	4475	GL-19E	9.00	0.00	20.8	0.00	Jander Marrufo G.
13	C.M. RUMA	02/05/2022	Día	4460	GL-19W	5.00	0.11	20.8	0.00	Jander Marrufo G.
15	C.M. RUMA	02/05/2022	Noche	4460	TJ-15	12.00	0.00	20.5	0.00	Jander Marrufo G.
17	C.M. RUMA	03/05/2022	Día	4475	INC-K	16.00	0.02	20.8	0.00	Jander Marrufo G.
18	C.M. RUMA	03/05/2022	Noche	4475	GL-19E	8.00	0.00	20.8	0.00	Jander Marrufo G.
19	C.M. RUMA	03/05/2022	Noche	4460	RP-CAR 2	5.00	0.00	20.8	0.00	Jander Marrufo G.
20	C.M. RUMA	03/05/2022	Día	4460	INC-K	6.00	0.00	20.8	0.00	Jander Marrufo G.
22	C.M. RUMA	03/05/2022	Día	4460	RP-501.1	0.00	0.00	20.8	0.00	Jander Marrufo G.
24	C.M. RUMA	03/05/2022	Día	4460	TJ-01	11.00	0.06	20.5	0.07	Jander Marrufo G.
26	C.M. RUMA	04/05/2022	Noche	4475	GL-19E	1.00	0.00	20.8	0.00	Jander Marrufo G.
27	C.M. RUMA	04/05/2022	Día	4460	RP-CAR 2	2.00	0.01	20.8	0.00	Jander Marrufo G.
28	C.M. RUMA	04/05/2022	Día	4460	INC-K	4.00	0.00	20.8	0.00	Jander Marrufo G.
30	C.M. RUMA	04/05/2022	Noche	4460	RP-501.1	0.00	0.00	20.8	0.04	Jander Marrufo G.
31	C.M. RUMA	04/05/2022	Día	4460	TJ-15	14.00	0.01	20.5	0.02	Jander Marrufo G.
33	C.M. RUMA	05/05/2022	Noche	4475	INC-K	11.00	0.00	20.8	0.09	Jander Marrufo G.
35	C.M. RUMA	05/05/2022	Día	4460	RP-CAR 2	8.00	0.00	20.8	0.00	Jander Marrufo G.
36	C.M. RUMA	05/05/2022	Día	4460	INC-K	3.00	0.00	20.8	0.00	Jander Marrufo G.
37	C.M. RUMA	05/05/2022	Noche	4460	GL-19W	14.00	0.02	20.8	0.00	Jander Marrufo G.
40	C.M. RUMA	05/05/2022	Noche	4460	TJ-01	13.00	0.10	20.5	0.00	Jander Marrufo G.
42	C.M. RUMA	06/05/2022	Día	4475	GL-19E	10.00	0.00	20.8	0.00	Jander Marrufo G.
44	C.M. RUMA	06/05/2022	Noche	4460	INC-K	6.00	0.00	20.8	0.00	Jander Marrufo G.
45	C.M. RUMA	06/05/2022	Noche	4460	GL-19W	0.00	0.01	20.8	0.00	Jander Marrufo G.

Figura 49. Monitoreo de gases en el ambiente mina cruz de oro (b).
Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

El diagnóstico inicial realizado en mina Cruz de Oro se obtuvieron resultados de 165 175 cfm de ingreso de aire para un requerimiento de 178 629 cfm, teniendo una cobertura del 92,5 %; esto por debajo del 100 % de cobertura de aire; así mismo la concentración de gases nocivos llegando el monóxido de carbono a 29 ppm., y el oxígeno a 19,47 % fuera de los límites máximos permisibles establecido en la norma legal DS. 024-2016-EM y su modificatoria DS. 023-2017-EM.

Se identificaron dos zonas de recirculación de aire viciado, en el nivel 4460 INC-K y GL19W, ingresa aire viciado proveniente de la RP-CARMEN el cual es extraído por el ventilador de 30 000 cfm ubicado en la GL17W y ventila a las labores donde se evidencia la existencia de 22 582 cfm de aire recirculado, además en el nivel 4475 INC-I, se evidencia recirculación de aire viciado y limpio en una cantidad de 55 739 cfm, esto debido a que se cuenta con un solo extractor de 60 000 cfm ubicado en la GL-02E, haciendo que parte del aire viciado del INC-K se vaya hacia el INC-I.

Podemos concluir que la concentración inicial de gases el cual era de hasta 29 ppm en monóxido de carbono, se optimizo en las labores en desarrollo a 6,7 ppm y en los tajeos de 21,30 ppm a 9,60 ppm lográndose una mitigación muy favorable para la unidad minera.

RECOMENDACIONES

Se recomienda el uso del software minero ventsim visual para realizar modelamientos en sistemas de ventilación desde las universidades o escuelas a fines para la formación de mejores profesionales.

Se recomienda inspeccionar las labores tanto por el personal operativo como de la supervisión, para que en caso de reparaciones en los ductos se haga el mantenimiento correspondiente ya sea con parches, grapas, termofusión, entre otros, y con esto asegurar el caudal requerido en el frente.

Seguir con la capacitación y entrenamiento que se debe brindar al personal y supervisión, ya que ellos son la fuente principal de que las simulaciones que se aplican en físico dentro de mina se cumplan y lleven a cabo al 100 %, y sobre todo con la seguridad que esto implica en cada uno de los trabajadores.

BIBLIOGRAFÍA

By Chasm Consulting. (Versión 3.9). *Manual del Usuario Software Ventsim visual 3D*. Australia.

CISTERNAS YAÑEZ, R. (2010). *Distribución de aire – Ventilación minería subterránea*. Chile.

Claudio Alejandro, G. (2010). *Recirculación controlada en minería subterránea*. Chile.

Compumet Ingenieros. (2006). *Ventilación de Minas Subterráneas*. Lima.

Decreto Supremo DS.24-2016-EM. y su Modificatoria DS.023-2017-EM. Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería. Lima - Perú.

ENRÍQUEZ, R. (2011). *Evaluación del sistema de ventilación de la mina San Vicente – Compañía minera San Ignacio de Morococha aplicando el Software Ventsim 3.9*. Puno.

GR Consultoría SAC. (2014). Ventilación de corto y mediano plazo. Puno.
INSTITUTO DE INGENIEROS DE MINAS DEL PERÚ. (1989).
Manual de ventilación de minas. Lima.

MC Pherson. (1986) *Subsurface Ventilation and Environmental Engineering. England.*

NEIRA, A. (1999). *Ventilación del desarrollo de la galería 385 – E Santa Ana – Compañía minera Ananea – Nivel 4945.* Puno.

NOVITZKI A. (1962). Ventilación de minas. Buenos Aires Argentina.

OCHOCHOQUE, J. (2014). *Generación de gases y diseño de sistema de ventilación en el pique de zona Ritty Pata – Mina la Rinconada,* Puno.

Planeamiento-Cori Riqueza SAC. (2022). *Área de Planeamiento-Puno.*

SONCCO, C. (2016). Diseño de un nuevo sistema de ventilación para la dilución de gases en la Unidad Minera Untuca – Sandia. Puno.

VARGAS, O. (2014). Diseño del circuito en un sistema de ventilación natural de la zona de Gisela – Mina Esperanza de Caravelí – Compañía minera Titán del Perú S.R.L., Arequipa.

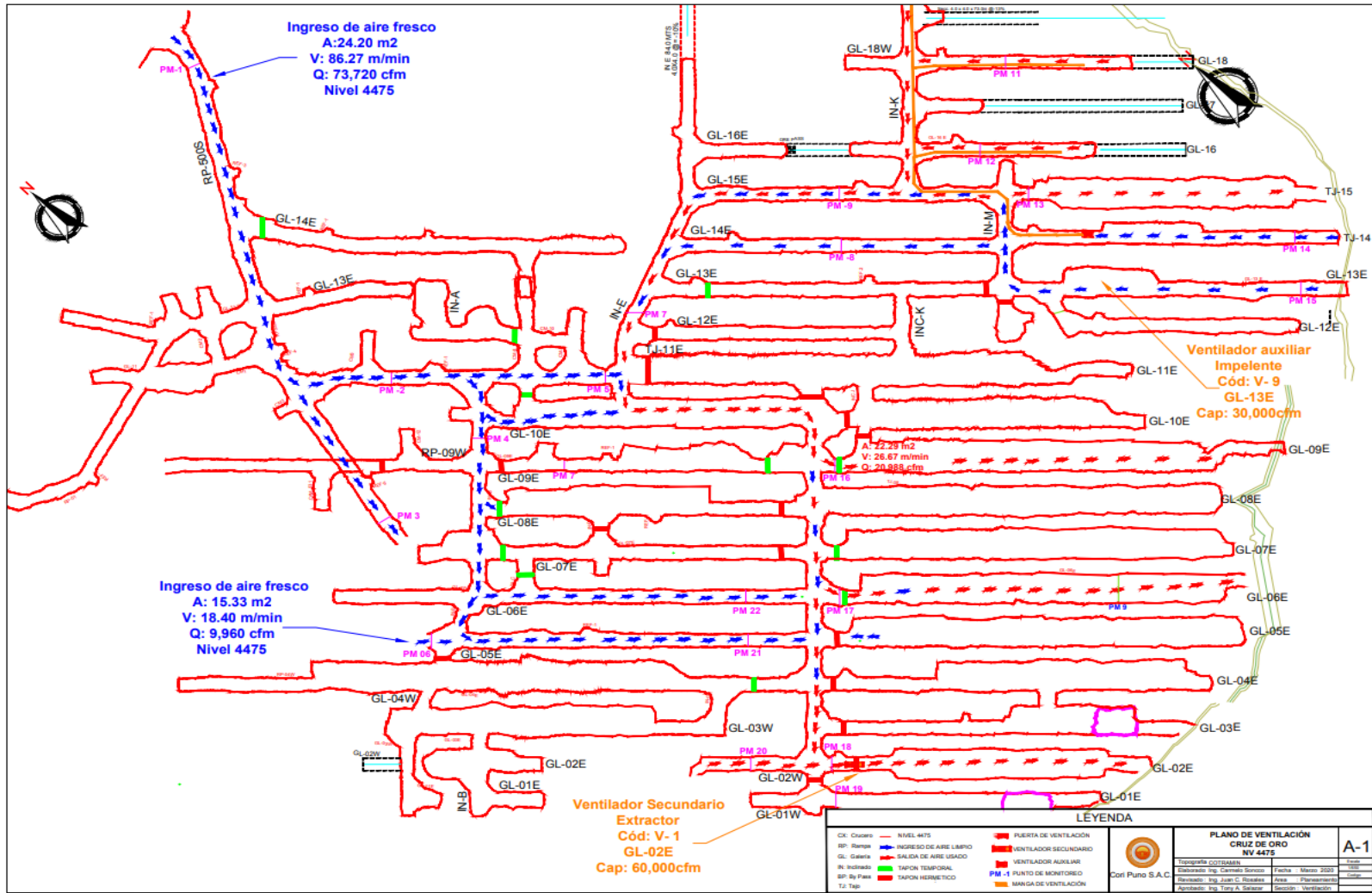
Yanes, G. (1993). Ventilación de Minas. Chile.

ANEXOS

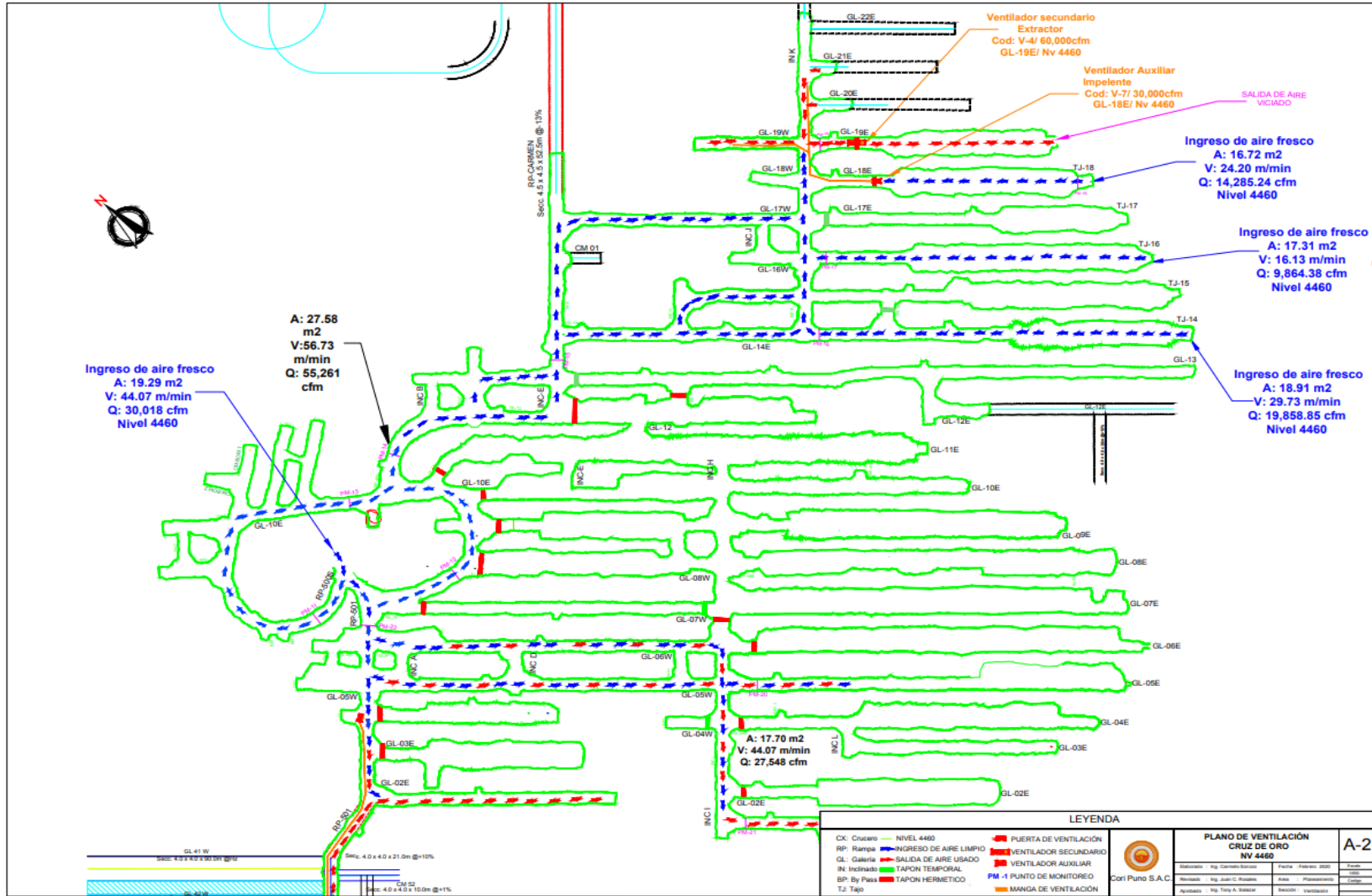
Anexo 01. Matriz de Consistencia

	Pregunta del Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables / Indicadores
General	¿Cómo es el nuevo diseño del sistema de ventilación para la dilución de gases nocivos en la Mina Cruz de Oro?	Determinar un nuevo sistema de ventilación para la dilución de gases nocivos en la Mina Cruz de Oro.	Con el nuevo diseño del sistema de ventilación en los diferentes niveles permitirá diluir la presencia de gases nocivos en la Mina Cruz de Oro.	Variable Independiente Diseño de un nuevo sistema de ventilación en la Unidad Minera Untuca, Sandía – Puno.
Específico 01	¿Cuál es el diagnóstico actual del sistema de ventilación en los diferentes niveles de la Mina Cruz de Oro?	Diagnosticar el sistema de ventilación actual de los diferentes niveles de la Mina Cruz de Oro.	El diagnóstico actual de las zonas críticas permitirá diseñar un nuevo sistema de ventilación en los diferentes niveles de la Mina Cruz de Oro.	Indicadores Ventilación natural Ventilación mecánica Ventilación Mixta
Específico 02	¿Existe recirculación de aire viciado?	Reducir la recirculación de aire viciado en los diferentes niveles de la Mina Cruz de Oro.	Con la instalación de un nuevo sistema de ventilación se minimiza la recirculación de aire viciado en los diferentes niveles de la Mina Cruz de Oro – Puno.	Variable Dependiente Dilución de gases nocivos en la Unidad Minera Untuca, Sandía – Puno Indicadores Concentración de O ₂ Concentración de CO Concentración de CO ₂ Concentración de NO ₂
Específico 03	¿Cómo es la dilución de los gases nocivos en los diferentes niveles de la Mina Cruz de Oro?	Determinar la dilución de los gases nocivos en los diferentes niveles de la Mina Cruz de Oro.	Con el nuevo diseño del sistema de ventilación se logrará diluir los gases nocivos en la Mina Cruz de Oro – Puno.	

Anexo 02. Plano Nivel 4475

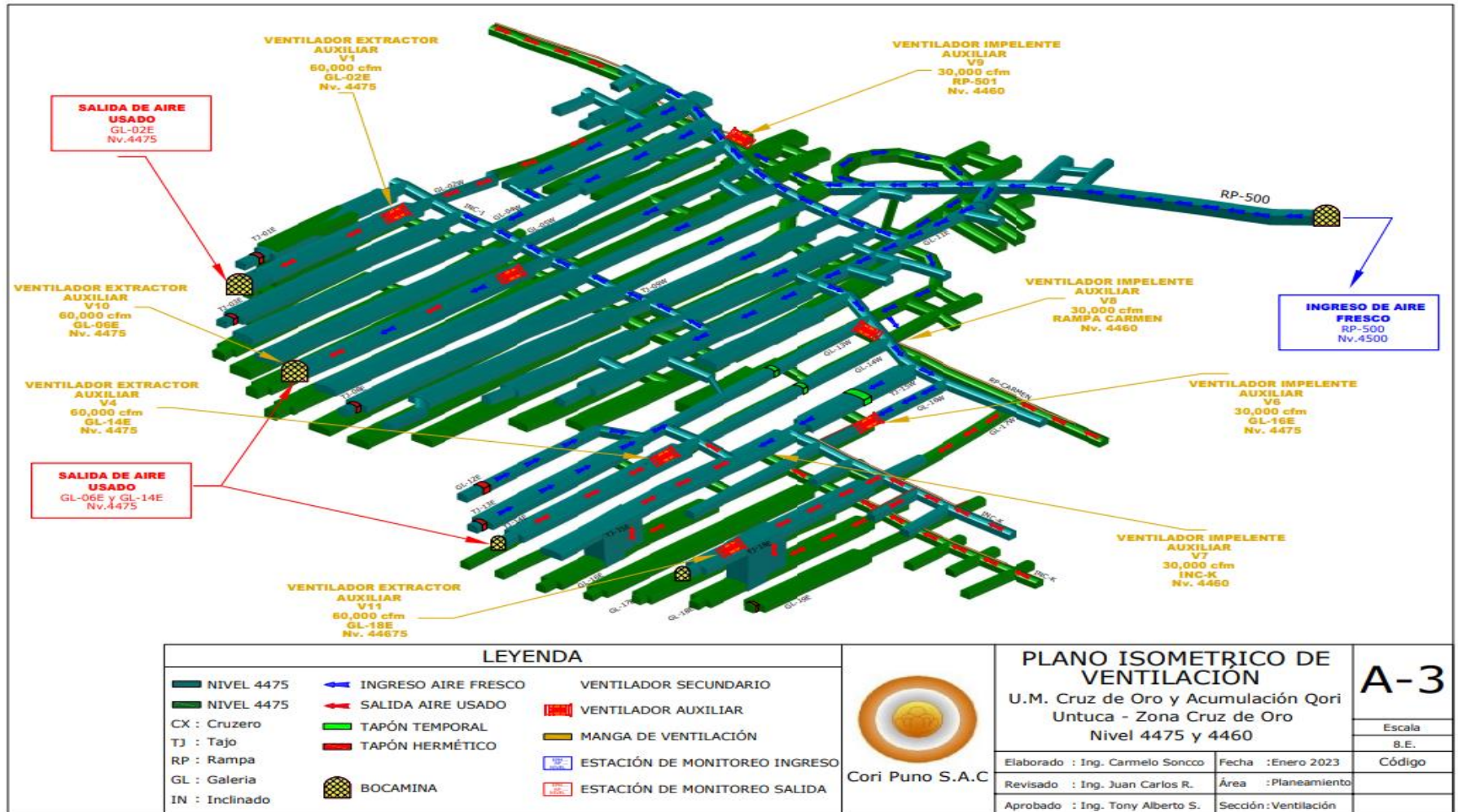


Anexo 03. Plano Nivel 4460



LEYENDA		 Cori Pluno S.A.C.	PLANO DE VENTILACIÓN CRUZ DE ORO NV 4460		A-2
CX: Cruce	— NIVEL 4460		PUERTA DE VENTILACIÓN	REDACTED	
RP: Rampa	— INGRESO DE AIRE LIMPIO	VENTILADOR SECUNDARIO	REDACTED		
GL: Galería	— SALIDA DE AIRE USADO	VENTILADOR AUXILIAR	REDACTED		
IN: Inclinado	— TAPON TEMPORAL	PM -1 PUNTO DE MONITOREO	REDACTED		
RP: By Pass	— TAPON HERMETICO	MANGA DE VENTILACIÓN	REDACTED		
TJ: Tajo					

Anexo 04. Plano Isométrico Mina Cruz de Oro Nv.4460 y Nv. 4475



Anexo 05. DS. 024-2016-EM y su Modificatoria DS. 023-2017-EM

CÁLCULO DE REQUERIMIENTO DE AIRE – ANEXO 38

1. **REQUERIMIENTO DE AIRE TOTAL (Q_{To}).** - Cuando en la operación se utilice equipos con motor petrolero:

La demanda de aire al interior de la mina debe ser calculada de acuerdo al literal d) del artículo 252 del reglamento, considerando la fórmula siguiente:

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

Donde:

Q_{To} = Caudal total para la operación

Q_{T1} = La sumatoria de caudal requerido por: a) el número de trabajadores (Q_{Tr}), b) el consumo de madera (Q_{Ma}), c) temperatura en labores de trabajo (Q_{Te}) y d) equipos con motor petrolero (Q_{Eq})

Q_{Fu} = 15 % del Q_{T1}

A estos efectos, previamente debe determinarse lo siguiente:

a) Caudal requerido por el número de trabajadores (Q_{Tr})

$$Q_{Tr} = F \times N \text{ (m}^3\text{/min)}$$

Donde:

- Q_{Tr} = Caudal total para "n" trabajadores (m^3/min);
 F = Caudal mínimo por persona de acuerdo a escala establecida en el artículo 247 del reglamento;
 N = Número de trabajadores de la guardia más numerosa.

b) Caudal requerido por el consumo de madera (Q_{Ma})

$$Q_{Ma} = T \times u \text{ (m}^3/\text{min)}$$

Donde:

- Q_{Ma} = Caudal requerido por toneladas de producción (m^3/min);
 U = Factor de producción, de acuerdo a escala establecida en el segundo párrafo del literal d) del artículo 252 del reglamento;
 T = Producción en toneladas métricas húmedas por guardia.

**FACTOR DE PRODUCCIÓN DE ACUERDO AL CONSUMO DE
MADERA**

CONSUMO DE MADERA (%)	FACTOR DE PRODUCCIÓN (m^3/min)
< 20	0.00
20 a 40	0.60
41 a 70	1.00
> 70	1.25

c) Caudal requerido por temperatura en las labores de trabajo (Q_{Te})

$$Q_{Te} = V_m \times A \times N \text{ (m}^3\text{/min)}$$

Donde:

Q_{Te} = Caudal por temperatura (m³/min);

V_m = Velocidad mínima;

A = Área de la labor promedio;

N = Número de niveles con temperatura mayor a 23°C, de acuerdo a escala establecida en el tercer párrafo del literal d) del artículo 252 del reglamento.

VELOCIDAD MÍNIMA

TEMPERATURA SECA (°C)	VELOCIDAD MÍNIMA (m/min)
< 24	0.00
24 a 29	30.00

d) Caudal requerido por equipo con motor Petrolero (Q_{Eq})

$$Q_{Eq} = 3 \times HP \times D_m \times F_u \text{ (m}^3\text{/min)}$$

Donde:

Q_{Eq} = Volumen de aire necesario para la ventilación (m^3/min);

HP = Capacidad efectiva de potencia (HPs);

D_m = Disponibilidad mecánica promedio de los equipos (%);

F_u = Factor de utilización promedio de los equipos (%).

e) Caudal requerido por fugas (Q_{Fu})

$$Q_{Fu} = 15\% \times Q_{T1} \text{ (m}^3\text{/min)}$$

Donde:

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

2. **REQUERIMIENTO DE AIRE TOTAL (Q_{To}).** - Cuando en la operación no se utilicen equipos con motor petrolero:

Debe calcularse el caudal total para la operación conforme la fórmula que se detalla a continuación y luego compararla con el caudal por el consumo de explosivos. Luego de obtener cada uno de los valores se determina como Requerimiento de Aire Total el de mayor valor.

La demanda de aire al interior de la mina debe ser calculada de acuerdo al literal d) del artículo 252 del reglamento, considerando la fórmula siguiente:

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

Donde:

Q_{To} = Caudal total para la operación;

Q_{T1} = La sumatoria de caudal requerido por: a) el número de trabajadores (Q_{Tr}), b) el consumo de madera (Q_{Ma}) y c) temperatura en labores de trabajo (Q_{Te});

Q_{Fu} = 15% del Q_{T1}

A estos efectos, previamente debe determinarse lo siguiente:

a) Caudal requerido por el número de trabajadores (Q_{Tr})

$$Q_{Tr} = F \times N \text{ (m}^3\text{/min)}$$

Donde:

Q_{Tr} = Caudal total para "n" trabajadores (m³/min);

F = Caudal mínimo por persona de acuerdo a escala establecida en el artículo 247 del reglamento;

N = Número de trabajadores de la guardia más numerosa.

b) Caudal requerido por el consumo de madera (QMa)

$$Q_{Ma} = T \times u \text{ (m}^3\text{/min)}$$

Donde:

Q_{Ma} = Caudal requerido por toneladas de producción (m³/min);

U = Factor de producción, de acuerdo a escala establecida en el segundo párrafo del literal d) del artículo 252 del reglamento;

T = Producción en toneladas métricas húmedas por guardia.

FACTOR DE PRODUCCIÓN DE ACUERDO AL CONSUMO DE MADERA	
CONSUMO DE MADERA (%)	FACTOR DE PRODUCCIÓN (m ³ /min)
< 20	0.00
20 a 40	0.60
41 a 70	1.00
> 71	1.25

c) Caudal requerido por temperatura en las labores de trabajo (QTe)

$$Q_{Te} = V_m \times A \times N \text{ (m}^3\text{/min)}$$

Donde:

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 a escala establecida en el tercer párrafo del literal d) del artículo 252 del reglamento.

VELOCIDAD MÍNIMA	
TEMPERATURA SECA ($^\circ C$)	VELOCIDAD MÍNIMA (m/min)
< 24	0.00
24 a 29	30.00

d) Caudal requerido por fugas (Q_{Fu})

$$Q_{Fu} = 15\% \times Q_{T1} \text{ (m}^3\text{/min)}$$

Donde:

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

e) Caudal requerido por consumo de explosivo (Q_{Ex})

Cuando en la operación no se utilicen equipos con motor petrolero, debe calcularse y tenerse en cuenta la necesidad de aire requerido por consumo de explosivos, conforme lo siguiente:

$$Q_{Ex} = A \times V \times N \text{ (m}^3\text{/min)}$$

Donde:

Q_{Ex} = Caudal de aire requerido por consumo de explosivo detonado
(m³/min)

A = Área promedio de labores (m²);

V = Velocidad mínima requerida según norma (m/min);

N = Número de niveles en voladura.