

Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica



TESIS

Análisis de circuito de ventilación integral y propuestas de mejora en el circuito de ventilación local en los proyectos de exploración minera en una zona Sur del país

Para obtener el título profesional de Ingeniero de Minas

Elaborado por

Juan Carlos Povis Rodriguez

 [0009-0008-2166-614X](https://orcid.org/0009-0008-2166-614X)

Asesor

MSc. Jose Antonio Corimanya Mauricio

 [0000-0003-1078-4155](https://orcid.org/0000-0003-1078-4155)

LIMA – PERÚ

2025

Citar/How to cite	Povis Rodriguez [1]
Referencia/Reference	[1] J. Povis Rodriguez, <i>“Análisis de circuito de ventilación integral y propuestas de mejora en el circuito de ventilación local en los proyectos de exploración minera en una zona Sur del país”</i> [Tesis de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2025.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

Citar/How to cite	(Povis, 2025)
Referencia/Reference	Povis, J. (2025). <i>Análisis de circuito de ventilación integral y propuestas de mejora en el circuito de ventilación local en los proyectos de exploración minera en una zona Sur del país</i> . [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

A Dios por las bendiciones que me otorga cada día. A mis padres por su apoyo moral permanente, su buena guía y por siempre acompañarme a lo largo de mi carrera profesional. A mis profesores por guiarme por el sendero de los conocimientos y por apoyarme académicamente.

Agradecimientos

Le agradezco muy profundamente a mi tutor y asesor de tesis por su dedicación y paciencia, sin su ayuda y guía en las correcciones precisas no hubiese podido lograr llegar a esta instancia tan anhelada.

Resumen

El presente trabajo de investigación busca dar solución al circuito de ventilación local con el cálculo de requerimiento de aire en cada uno de los proyectos mineros de exploración de la U.E.A Capitana, asimismo se realiza un análisis integral del sistema de ventilación Caravelí haciendo uso principalmente del balance de aire en las estaciones de ingreso de aire fresco y estaciones de salida de aire viciado en superficie en U.E.A Capitana, asimismo se realiza el cálculo de requerimiento de aire global de la mina y se plantea la instalación de un ventilador secundario y/o principal como extractor de aire viciado en el Nv 2130 así como la implementación de una chimenea integral de ventilación como un troncal de salida de aire viciado. Además de ello se busca cumplir con la velocidad mínima de aire acorde a la legislatura minera. Esto se propone realizando el cálculo del requerimiento local en los proyectos mineros y presentados proyectos de infraestructura tales como chimeneas de ventilación conexiones de labores e instalando ventiladores. Se plantea la ejecución de un RB o RC y realizando el cálculo del diámetro óptimo del RC o RB llegando a un diámetro de 2.8 m para una longitud de 132.5 m. Además de ello es importante conocer los tipos de gases que se generan en la U.E.A Capitana de Caravelí producto de la voladura y por la emisión de los equipos Diesel para conocer sus concentraciones límites permisibles. Asimismo, el costo de mejora de todo el circuito e de ventilación tanto integral como local se aproxima a un total de 1,580,523.00 US\$ contemplando el ventilador secundario de 50KCFM en el Nv 2130.

Palabras clave — Raise Climber, balance de aire, cobertura, extractor.

Abstract

This research work seeks to provide a solution to the local ventilation circuit with the calculation of air requirement in each of the mining exploration projects of the U.E.A Capitana, also a comprehensive analysis of the Caraveli ventilation system is performed using mainly the air balance in the fresh air intake stations and stale air exhaust stations on the surface in U. E. A Capitana. E.A Capitana, also the calculation of the global air requirement of the mine is made and the installation of a secondary and/or main fan as a stale air extractor in Nv 2130 is proposed, as well as the implementation of an integral ventilation chimney as a stale air exhaust trunk, in addition to this, the minimum air velocity according to the mining legislation is sought to be fulfilled. This is proposed by calculating the local requirement in the mining projects and presenting infrastructure projects such as ventilation chimneys, work connections and installing fans. It is proposed the execution of a RB or RC and making the calculation of the optimal diameter of the RC or RB arriving at a diameter of 2.8 m for a length of 132.5 m. In addition, it is important to know the types of gases generated in the U.E.A. Capitana de Caraveli as a result of blasting and the emission of diesel equipment to know their permissible limit concentrations. Likewise, the cost of improving the whole circuit and the emission of the diesel equipment will be determined in order to know their permissible limit concentrations.

Keywords — Raise Climber, air balance, coverage, extractor.

Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen	v
Abstract	vi
Introducción	xiv
Capítulo I. Parte introductoria del trabajo	1
1.1 Generalidades.....	1
1.2 Formulación del problema específico	1
1.3 Objetivos del estudio	2
1.3.1 Objetivo general	2
1.3.2 Objetivos específicos	3
1.4 Hipótesis del estudio	3
1.4.1 Hipótesis general	3
1.4.2 Hipótesis específicas.....	3
1.5 Antecedentes investigativos	3
1.6 Matriz de consistencia.....	5
Capitulo II. Marcos teórico y conceptual.....	6
2.1 Marco teórico	6
2.1.1 Ventilación de minas	6
2.1.2 Gases y polvo producidos en interior mina.....	6
2.1.3 Clasificación de gases.....	7
2.1.4 Métodos de ventilación.....	7
2.1.5 Clasificación de ventiladores	9
2.1.6 Leyes y reglas de los ventiladores:.....	10
2.1.7 Regulación legal.....	12
2.2 Marco conceptual.....	20
2.2.1 Cálculo de requerimiento de aire de la mina	20
2.2.2 Selección de ventiladores	22

2.2.3 Circuitos de ventilación	23
2.2.4 Caída de presión de aire	25
Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación	27
3.1 Diagnóstico de la red y circuito de ventilación en U.E.A Capitana	27
3.2 Análisis de velocidad de aire en las estaciones de monitoreo en interior mina	27
3.3 Análisis de temperatura y humedad en interior mina:	29
3.4 Balance de ingreso y salida de aire:.....	31
3.4.1 Puntos de ingreso de aire de mina	31
3.4.2 Puntos de salida de aire de mina	31
3.5 Cálculo de requerimiento de aire.....	35
3.5.1 Caudal requerido por el número de trabajadores	36
3.5.2 Caudal por el consumo de madera.....	37
3.5.3 Caudal requerido por temperatura:.....	38
3.5.4 Caudal requerido por equipos Diesel	40
3.5.5 Caudal requerido por fugas	42
3.5.6 Requerimiento global de aire.....	42
3.6 Proyectos de ventilación	43
3.6.1 Nv 1980 Josefina Chanchin:.....	44
3.6.2 NV 1940 GA_350_E.....	52
3.6.3 NV 1915 GA 515 E-W	55
3.6.4 NV 1820 XC 950 S.....	58
3.6.5 NV 1820 XC 300 S.....	63
3.6.6 NV 1700 XC 775	67
Capítulo IV. Análisis e interpretación de resultados	73
4.1 Circuito de ventilación integral de ventilación	73
4.2 Costo energético de los ventiladores.....	79
Conclusiones	83
Recomendaciones	84

Referencias bibliográficas.....	85
Anexos	86

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 : Factores de fricción K	26
Tabla 2 : Estaciones de monitoreo de U.E.A Capitana.....	28
Tabla 3 : Temperatura en los niveles de mina de la U.E.A Capitana.....	30
Tabla 4 : Estaciones de monitoreo de ingreso de aire fresco	31
Tabla 5 : Estaciones de monitoreo de salida de aire viciado	32
Tabla 6 : Puntos de monitoreo de aire fresco.....	33
Tabla 7 : Puntos de monitoreo de salida de aire viciado	34
Tabla 8 : Balance de ingresos y salidas de aire de mina.....	35
Tabla 9 : Caudal requerido por el número de trabajadores	36
Tabla 10: Consumo de madera en U.E.A Capitana	37
Tabla 11: Factor de producción de acuerdo al consumo de madera	38
Tabla 12: Producción en toneladas en U.E.A Capitana.....	38
Tabla 13: Velocidad mínima por temperatura	39
Tabla 14: Niveles por temperatura en U.E.A Capitana.....	39
Tabla 15: Área promedio de las labores.....	40
Tabla 16: Caudal de aire por temperatura.....	40
Tabla 17: Factores de cálculo en caudal por equipos	41
Tabla 18: Caudal de aire por equipos petroleros.....	41
Tabla 19: Caudal de aire por fugas	42
Tabla 20: Caudal de aire requerido por la mina	43
Tabla 21: Cálculo de requerimiento por persona Nv 1980 XC 560 N	44
Tabla 22: Cálculo de requerimiento por equipos diésel Nv 1980 XC 560 N	44
Tabla 23: Cálculo de requerimiento de aire total Nv 1980 XC 560 N.....	45
Tabla 24: Labores en operación	45
Tabla 25: Requerimiento por voladura Nv 1940 GA 350 E.....	52
Tabla 26: Simulación de GA 350 E y BP 350 E.....	54

Tabla 27: Requerimiento de aire por voladura Nv 1915 GA 515 E-W	55
Tabla 28: Simulación de caudales en GA 515 E- W.....	57
Tabla 29: Simulación GA 515 E	58
Tabla 30: Requerimiento de aire por persona Nv 1820 XC 950 S.....	60
Tabla 31: Requerimiento de aire por equipo Diesel	60
Tabla 32: Requerimiento total de aire	60
Tabla 33: Requerimiento de aire por persona	63
Tabla 34: Requerimiento de aire por equipo diésel	64
Tabla 35: Requerimiento de aire total	64
Tabla 36: Cálculo de requerimiento de aire por persona NV 1700 XC 775 S	68
Tabla 37: Cálculo de requerimiento por equipo diesel Nv 1700 XC 775 S	68
Tabla 38: Cálculo de requerimiento de aire total Nv 1700 XC 775 S.....	68
Tabla 39: Secciones equivalentes en chimeneas.....	74
Tabla 40: Cálculo de diámetro óptimo en RB.....	76
Tabla 41: Parámetros de diseño de ventilador extractor	77
Tabla 42: Requerimiento de aire de mina y cobertura.....	78
Tabla 43: Cobertura de aire de mina y balance de aire de mina	78
Tabla 44: Costo actual operativo de ventiladores en operación	80
Tabla 45: Costo energético proyectado en los proyectos de exploración	82

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 : Gráfico de las velocidades de aire en estaciones de monitoreo	29
Figura 2 : Temperatura en los diferentes niveles de la mina	30
Figura 3 : Situación actual del circuito de ventilación	45
Figura 4 : Circuito de ventilación a corto plazo.....	47
Figura 5 : Curva de operación de ventiladores de 20 KCFM	47
Figura 6 : Circuito de ventilación a corto plazo Nv 2020 Chanchin.....	48
Figura 7 : Curva de ventilador de 10 KCFM NV 2020	49
Figura 8 : Circuito de ventilación a mediano plazo Nv 1980 XC 560 N.....	49
Figura 9 : Curva de ventiladores de 20 KCFM y 10 KCFM.....	50
Figura 10: Circuito de ventilación a mediano plazo Nv 1980 XC 560 N.....	50
Figura 11: Curva de operación de ventilador de 20 KCFM.....	51
Figura 12: Simulación de contaminantes	51
Figura 13: Situación actual del sistema de ventilación	53
Figura 14: Curva de operación de ventilador de 20 KCFM NV 1940 GA 350 E.....	53
Figura 15: Circuito de ventilación a corto plazo.....	54
Figura 16: Simulación de contaminantes GA 350 E NV 1940	55
Figura 17: Situación actual circuito de ventilación Nv 1915 GA 515 E-W	56
Figura 18: Simulación de caudales en la GA 515 E-W y curva de ventilador de 10 KCFM ..	56
Figura 19: Circuito de ventilación a corto plazo Nv 1915 GA 515 E-W	57
Figura 20: Simulación de contaminantes NV 1915 GA 515 W	58
Figura 21: Circuito actual de ventilación.....	59
Figura 22: Circuito de ventilación a corto plazo Nv 1820 XC 950 S.....	61
Figura 23: Curva de ventiladores de 20 KCFM	62
Figura 24: Circuito de ventilación a mediano plazo Nv 1820 XC 950 S.....	63
Figura 25: Circuito de ventilación actual y corto plazo Nv 1820 XC 300 S	65
Figura 26: Circuito de ventilación a mediano plazo Nv 1820 XC 300 S.....	66

Figura 27: Simulación de contaminantes NV 1820 XC 300 S.....	67
Figura 28: Situación actual Nv 1700 XC 775 S	69
Figura 29: Situación a mediano plazo NV 1700 XC 775 S	70
Figura 30: Situación a largo plazo Nv 1700 XC 775 S.....	71
Figura 31: Simulación de contaminantes Nv 1700 XC 775 S	72
Figura 32: Ventilador extractor y Chimenea RB de 132.5 metros.....	74
Figura 33: Gráfico de costos totales vs diámetros de RB.....	77

Introducción

El presente trabajo de investigación tiene por objetivo buscar soluciones tanto integrales como locales a los circuitos de ventilación en los principales proyectos de exploración en la U.E.A Caravelí , para ello se evalúa el requerimiento de aire en cada proyecto de exploración de los diferentes niveles acorde a esto se dimensiona la cantidad y capacidad de los ventiladores que se emplearán para cada proyecto de exploración teniendo en cuenta los equipos a usarse y la cantidad de personal , adicional a ello se realiza un estudio del tiempo de evacuación de los contaminantes que se generan producto de la voladura en los diferentes niveles de operación y proyectos de exploración. El principal problema es el cálculo de requerimiento de aire de global de la mina para lograr una cobertura de acuerdo a la demanda de aire de la mina, posterior a ello se debe implementar un correcto circuito de salida de aire viciado de los proyectos de exploración , principalmente con equipos diesel , el costo operativo de los ventiladores de los proyectos de exploración también es una parte importante ,el cual se calculará con las propuestas presentadas para cuantificar en números el costo de mejorar del circuito de ventilación, esto se logra sustituyendo ventiladores auxiliares por ventiladores secundarios en las principales zonas de exploración . Para establecer un circuito integral de ventilación en la U.E.A Capitana se realiza un RB o RC de 132.5 metros desde el Nv 2020 hasta el Nv 2130 el cual funcionara como circuito de ventilación secundario en la extracción de aire viciado instalando un ventilador de 50 KCFM.

Capítulo I. Parte introductoria del trabajo

1.1 Generalidades

La rama de la ventilación minera se encarga de proveer aire fresco a las labores en interior mina , así como generar un ambiente termo ambiental confortable para llevar a cabo las operaciones del ciclo de minado en interior mina esto implica que los agentes químicos y gases generados por los procesos en interior mina así como los agentes químicos generados por los equipos Diésel se encuentren por debajo de los LMP.

Adicional a ello es crucial diseñar un correcto circuito de extracción de aire viciado en las labores de exploración explotación, preparación para aumentar la productividad de las operaciones mineras y proveer un ambiente confortable con las condiciones termo ambientales adecuadas.

Por lo cual es importante el correcto diseño de un sistema de extracción de aire viciado en las labores de exploración en los diferentes niveles, la implementación de ventiladores extractores en las labores está cercanamente relacionado al requerimiento de aire el cual va depender de la cantidad de equipos, cantidad de personal, que trabajan en las labores en interior mina.

Todo esto es crucial para llegar a proveer de un ambiente termo ambiental que asegure la integridad y seguridad de los trabajadores en interior mina.

Asimismo, todo este proceso va de la mano con la selección adecuada de los ventiladores y un diámetro adecuado de manga de ventilación para las operaciones mineras.

1.2 Formulación del problema específico

De acuerdo a cada yacimiento y a cada tipo de explosivos usados se pueden encontrar distintos tipos de agentes químicos en interior mina producto de la voladura principalmente y otros agentes químicos por el contacto con el yacimiento, esta información como el tipo de yacimiento es crucial para la implementación y adquisición de detectores de gases en la mina , por ejemplo en un yacimiento de sulfuros, este gas al entrar en

contacto con el ambiente y producto del proceso de voladura genera gases sulfurosos ,por ello es importante que los yacimientos con esta característica cuente con detectores de gases con sensores que midan la concentración de gases sulfurosos para el monitoreo en cada guardia de los agentes químicos, por ello la necesidad de conocer los tipos de gases y polvos en suspensión en la U.E.A Capitana de Caravelí .

Asimismo, de acuerdo al Art. 252 inciso c) del DS 024 2016 EM y su última modificatoria DS 034- 2023 EM menciona que la diferencia de caudal de ingreso de aire fresco y el caudal de aire viciado no debe exceder al 10% y el inciso g) del mismo debe considerar el cálculo de la cobertura actual considerando al número de trabajadores, por madera, por temperatura, equipos petroleros y por voladura.

El principal problema en la U.E.A Capitana es la falta de un circuito de ventilación integral , circuito de salida de aire viciado , debido a que los gases producto de la voladura llegan a la superficie por medio de la gama de chimeneas en los diferentes niveles.

Debe mencionarse también que los proyectos de exploración en interior mina carecen de un correcto circuito de ventilación local (cobertura, requerimiento de aire local) los cuales presenta problemas termo ambientales que impiden la mejor productividad en las operaciones mineras que principalmente se desarrollan con equipos diésel.

Finalmente, para la implementación de toda mejora del sistema esta debe traducirse a números en costos, por ello la importancia de calcular y cuantificar el costo de la mejora del circuito de ventilación juega un papel importante en la presente investigación pues esta va de la mano con el diámetro óptimo del RB o RC que se plantea como parte la troncal de ventilación del sistema de ventilación.

1.3 Objetivos del estudio

1.3.1 Objetivo general

Implementar proyectos de mejora para el circuito de ventilación integral y diseño de un óptimo circuito de ventilación local en las labores de exploración minera

1.3.2 *Objetivos específicos*

- Cálculo de la cobertura actual de ingreso de aire fresco en las labores de la Unidad Minera Capitana - CMC. Así como el balance integral de caudal de ingreso y salida de aire de mina.
- Evaluar cuales son los tipos de gases, polvos en suspensión que se generan en interior mina para de las labores de exploración explotación, desarrollo, etc. en la Unidad Minera Capitana
- Calcular el costo de la implementación y mejora del circuito de ventilación al incrementar ventiladores en las labores de exploración, cumpliendo con la velocidad mínima de aire acorde al DS 024- 2016 EM 2017.

1.4 Hipótesis del estudio

1.4.1 *Hipótesis general*

El diseño de un circuito de ventilación tanto integral como local esta cercanamente vinculado con el requerimiento de aire global y local respectivamente pues es el punto de partida para la elección de ventiladores auxiliares inyectores de aire fresco esto para el caso del circuito local de ventilación; así como la elección de ventiladores secundarios y/ o ventiladores principales para el caso del circuito de ventilación global.

1.4.2 *Hipótesis específicas*

- Mejora en la cobertura de aire en interior mina, así como lograr un balance adecuado entre el caudal de aire fresco y aire viciado.
- Los tipos de gases y polvo en suspensión para evacuar en las labores de explotación y exploración en interior mina dependen de las concentraciones.
- El costo de energía de los ventiladores está en función a la óptima distribución de los ventiladores eléctricos en interior mina.

1.5 Antecedentes investigativos

Ramos, R. W. (2021). Diseño del circuito de ventilación para evacuar los gases, humo y polvo en suspensión en las labores de la galería principal en la mina artesanal Aurex-Acopalca, Pasco 2018. Se considera la conexión entre chimeneas y labores para

generar una troncal de ventilación por medio de ventilación natura. Así como en su segunda propuesta es adquirir un ventilador de 6,000 CFM en cada labor de los 4 niveles de la mina.

Turpo, N. R. (2022). Análisis del sistema de ventilación y propuesta de mejora para optimizar el caudal de aire de la minera Aurífera Retamas S.A. Marsa - 2020". En la presente tesis se desarrolla el análisis en el balance de aire en los puntos de ingresos y salidas. La diferencia entre los cuales no debe exceder el 10%. Se observa acorde a las mediciones que el caudal de aire que ingresa a la mina es 571,236 cfm y el caudal de aire viciado es 693777 cfm, teniendo un balance de 17,66%. Para compensar este déficit se propone reemplazar ventiladores auxiliares.

Portilla, S. R. (2018). Propuesta técnica de mejora del sistema de ventilación principal de una operación minera subterránea polimetálica – 2015. Se observa que se tiene una cobertura de 114% en el balance del caudal de aire que ingresa y el caudal de aire viciado que sale de mina. Se propone 3 opciones de mejora, la primera integración de las labores mediante cruceros, distribuir correctamente el aire que ingresa y la construcción de 2 Raise Borer para que suministren aire fresco.

1.6 Matriz de consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA			
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE
Cuál es el circuito de ventilación integral y circuito de ventilación local en las labores de exploraciones mineras que permita un óptimo circuito de ventilación	Implementar proyectos de mejora para el circuito de ventilación integral y diseño de un óptimo circuito de ventilación local en las labores de exploración minera	El diseño de un circuito de ventilación tanto integral como local esta cercanamente vinculado con el requerimiento de aire global y local respectivamente pues es el punto de partida para la elección de ventiladores auxiliares inyectores y extractores, así como de ventiladores principales para el caso del circuito de ventilación global	Circuito de Ventilación Velocidad de aire Caudal Costos
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLE DEPENDIENTE
Cuál es la cobertura actual de la mina y el balance general de ingresos y salidas de aire de mina	Cálculo de la cobertura actual de ingreso de aire fresco en las labores de la Unidad Minera Capitana - CMC. Así como el balance integral de caudal de ingreso y salida de aire de mina.	Mejora en la cobertura de aire en interior mina, así como lograr un balance adecuado entre el caudal de aire fresco y aire viciado.	Evacuación de los gases tóxicos y polvos en suspensión.
Cuáles son los tipos de gases, polvos en suspensión que se generan en interior mina para de las labores de exploración explotación, desarrollo, etc. en la Unidad Minera Capitana	Evaluar cuales son los tipos de gases, polvos en suspensión que se generan en interior mina para de las labores de exploración explotación, desarrollo, etc. en la Unidad Minera Capitana	Los tipos de gases y polvo en suspensión para evacuar en las labores de explotación y exploración en interior mina dependen de las concentraciones.	
Cuál es el costo actual operativo de los ventiladores y cuál será el costo con la implementación de los proyectos de mejora del circuito de ventilación al incrementar ventiladores en las labores de exploración, cumpliendo con la velocidad mínima de aire acorde al DS 024-2016 EM 2017.	Calcular el costo de la implementación y mejora del circuito de ventilación al incrementar ventiladores en las labores de exploración, cumpliendo con la velocidad mínima de aire acorde al DS 024-2016 EM 2017.	El costo de energía de los ventiladores y está en función a la óptima distribución de los ventiladores eléctricos en interior mina.	

Capítulo II. Marcos teórico y conceptual

2.1 Marco teórico

2.1.1 Ventilación de minas

El proceso de la ventilación de minas consiste en inyectar aire fresco que sea considerable y necesario de acuerdo a las necesidades de las labores en interior mina para crear condiciones óptimas de trabajo, generar un ambiente termo ambiental confortable para los trabajadores que realicen las operaciones del ciclo de minado. Esto incluye que se deben extraer eficientemente los gases, polvos agentes químicos generador por los distintos procesos del ciclo de minado en interior mina

2.1.2 Gases y polvo producidos en interior mina

El aire en interior de mina es una mezcla de varios gases, teniendo la presencia de agentes químicos (polvos, vapores, gases, humos metálicos, neblinas entre otros), agentes físicos (temperaturas extremas, presión barométrica, humedad extrema, entre otros) y biológicos (mohos, hongos, bacterias) que se puedan encontrar en las labores e instalaciones de la mina Caravelí Capitana, algunos gases se van a originar por el uso de explosivos durante la voladura de los frentes, así como por la utilización de diferentes equipos con motores diésel.

Gases producidos por explosivos:

- Óxidos nitrosos. El óxido nitroso o dióxido de nitrógeno se genera por el uso del ANFO en la voladura de los frentes, chimeneas, etc. Es un gas tóxico que puede producir hasta la muerte por un edema pulmonar.
- Sulfuro de hidrógeno. Se genera por la descomposición de la pirita, también por la descomposición de sustancias orgánicas y por realizar disparos en minerales que contienen azufre.
- Hidrógeno. Se encuentra en el aire en forma de amoníaco y se genera por realizar disparos (debido a la ausencia del oxígeno del aire).

- Anhídrido carbónico o dióxido de carbono. Se produce por la respiración de los trabajadores que se encuentran en interior de mina (fundamentalmente en lugares confinados). Se genera producto de la combustión de sustancias carbonadas en presencia de exceso de aire o de oxígeno. También se genera producto de los disparos que se realiza en las diferentes labores de la mina.
- Anhídrido sulfuroso. Se genera por la combustión del azufre (pirita), por la combustión del carbono rico en azufre y también por realizar disparos en minerales con alto contenido de azufre.

Gases producidos por motores diésel:

- Monóxido de carbono. Se origina por la combustión incompleta del petróleo, se desprende del escape de motores de combustión interna.

Polvo en suspensión:

- Los polvos que se presentan en los diferentes ciclos del minado son partículas sólidas, finalmente divididas, que se generan por acción mecánica en las operaciones de perforación, voladura y transporte. El polvo generado en las operaciones mineras es un serio problema ya que su inhalación ha dado lugar a la neumoconiosis y otras afecciones a la salud de los trabajadores.

2.1.3 Clasificación de gases

2.1.3.1 Gases asfixiantes. Los gases asfixiantes tienden a disminuir la concentración de oxígeno en la atmosfera, ya que ocupan en volumen en la atmosfera donde se encuentra presente.

2.1.3.2 Gases tóxicos. Poseen un efecto venenoso al penetrar a los pulmones y al resto del cuerpo humano, por ello sus valores LMP son bajos.

2.1.3.3 Gases explosivos. Son gases que al mezclarse con el aire y con presencia de un comburente llegan a formar una explosión.

2.1.4 Métodos de ventilación

2.1.4.1 Ventilación natural. Es un sistema de ventilación que consta de 2 puntos uno de acceso y el otro de salida; se emplea en las labores mineras subterráneas de

manera convencional principalmente en las montañas donde por la diferencia de cotas y temperatura de los dos puntos se produce diferencia de presión que origina el flujo de aire. La única fuerza natural que puede crear y mantener un flujo apreciable de aire es la energía térmica, debido a la diferencia de temperatura y presión barométrica que genera una diferencia de peso específico entre el aire saliente y entrante.

La ventilación natural depende principalmente de la diferencia de elevaciones entre la superficie y las labores mineras subterráneas; así como diferencia de temperatura entre el interior y el exterior de la labor. Asimismo la dirección del flujo del aire creado por esta diferencia de presiones varía en las temporadas del año, produciendo una dirección inversa del flujo en verano respecto a la dirección en invierno.

2.1.4.2 Ventilación auxiliar. Es producto de una diferencia de presión provocada por un ventilador mecánico el cual impulsa un volumen de aire determinado. En labores horizontales de sección pequeña y poco avance proyectado se sugiere usar un sistema impelente de mediana capacidad, esto va depender de los equipos, personas, etc.

Sistema aspirante: El aire fresco ingresa al frente por la galería y el aire viciado es extraído con ayuda un ventilador extractor. Es comúnmente usado para ventilar túneles desde la superficie, aun cuando se requieren elementos auxiliares para remover el aire de la zona muerta, comprendida entre el frente y el extremo del ducto de aspiración.

Sistema combinado: Aspirante-impelente. que emplea la combinación de ambos sistemas, un ventilador que inyecta aire fresco y un ventilador que extrae el aire viciado en las labores horizontales. Este sistema reúne las ventajas de los dos tipos básicos, se mantiene el aire fresco en la labor, dándose así condiciones termo ambientales para el trabajo, la desventaja incurre en el costo energético al tener dos ventiladores funcionando.

2.1.4.3 Ventilación principal. La ventilación en una mina subterránea es el proceso mediante el cual se hace circular por el interior de la misma el aire necesario para asegurar una atmósfera respirable y segura para el desarrollo de los trabajos. Se realiza estableciendo un circuito de ventilación, para la circulación e ingreso de aire limpio y salida del aire viciado.

La ventilación principal de la mina es la que recorre todas las labores mineras y de ese circuito se desprende la ventilación a los frentes de trabajo de la mina. Esta ventilación debe ser forzada.

El caudal de aire que circule por la mina dependerá del número de trabajadores, la extensión y sección de las labores, el tipo de maquinarias de combustión interna y las emanaciones de gases naturales de la mina.

2.1.5 Clasificación de ventiladores

Actualmente se subdividen en centrífugos y axiales:

2.1.5.1 Ventiladores centrífugos. Ramos. R. W. (2018). Características: Consiste en hacer ingresar el aire por un canal de aspiración concéntrico con el eje que se encuentra girando a gran velocidad el cual se llama rotor.

El fluido en este caso el aire recorre los alabes hacia el exterior debido a la fuerza centrífuga y abandona el rotor con una velocidad muy superior con la cual ingreso y gira 90° para ser evacuado por un difusor.

El aire es captado por una carcasa en forma de espiral llamada Voluta y termina saliendo del ventilador por un ducto tangente a la voluta.

El rendimiento de estos ventiladores es limitado debido a la rotación en 90° de dirección, lo cual termina provocando pérdidas de energía específicamente por choque y por los remolinos que se forman.

En estos ventiladores se generan gran flujo de aire y por consiguiente altas presiones en comparación con los ventiladores axiales.

Los ventiladores centrífugos se subdividen en 3 tipos:

- Curvados hacia delante
- Radiales
- Curvados hacia atrás

2.1.5.2 Ventiladores axiales: Ramos. R. W. (2018). Características: El aire es descargado en dirección axial a la dirección del eje del rotor que es por donde el aire ingresa. El rotor tiene dos o más álabes instalados en ángulo hacia el eje. Entre los cuales

algunos ventiladores pueden graduar sus ángulos para consumir menor energía eléctrica, asimismo el sentido del flujo del aire se invierte al invertir el sentido de rotación de los álabes.

El volumen se encuentra determinado por el ángulo de incidencia de las paletas; por tal razón, la mayoría de los ventiladores axiales tienen álabes de graduables que sirven para cubrir diferentes requerimientos de volumen y presión con un mismo modelo.

Componentes:

Los ventiladores axiales cuentan:

- Con un tubo cilíndrico (carcasa),
- Un eje en el centro (rueda) donde van montadas las hélices o alabes o paletas
- Corona directriz con aletas directrices
- Difusor. Para aminorar la resistencia al flujo de aire cuenta con un casco o carenado.

Perdidas de energía:

Las pérdidas de energía en ventiladores Axiales se producen principalmente por:

- La resistencia que se genera entre perfiles de las paletas, y en el espacio anular
- Al final de la rueda por desviación
- En el difusor, por convertirse en energía
- Por pérdidas mecánicas

2.1.6 Leyes y reglas de los ventiladores:

Ramos. R. W. (2018). Los ventiladores que se rigen por leyes que relacionan: volumen, presión, eficiencia y potencia al cambiar:

- Velocidad del ventilador (RPM)
- El diámetro del ventilador
- Densidad del aire.

2.1.6.1 Primera Ley. Ramos. R. W. (2018). Si variamos la velocidad del ventilador y mantenemos constante el diámetro del ventilador y la densidad del aire.

Los caudales o volúmenes de aire son directamente proporcionales a las velocidades; esto queda representado en la Ecuación 1 mostrada a continuación (Hartman,1997):

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{RPM_1}{RPM_2} \quad (1)$$

Las presiones(h) son directamente proporcional al cuadrado de las velocidades, como se puede observar en la ecuación 2 (Hartman,1997):

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{RPM_1^2}{RPM_2^2} \quad (2)$$

Las potencias (Hp) son proporcionales al cubo de las velocidades, como se puede observar en la ecuación 3 (Hartman,1997):

$$\frac{BHP_1}{BHP_2} = \frac{RPM_1^3}{RPM_2^3} \quad (3)$$

Por último, las eficiencias mecánicas no dependen de la velocidad, como se puede observar en la ecuación 4, (Hartman,1997):

$$n_1 = n_2 \quad (4)$$

2.1.6.2 Segunda Ley. Ramos. R. W. (2018). Si variamos el tamaño del ventilador(diámetro) y mantenemos constante su velocidad y la densidad del aire.

Los caudales de aire serán proporcionales al cuadrado de sus diámetros, cómo se puede observar en la ecuación 5, donde se detalla lo mencionado anteriormente (Hartman,19987):

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{D_1^2}{D_2^2} \quad (5)$$

Las presiones son independientes de los diámetros. Como se puede observar en la ecuación 6 mostrada a continuación (Hartman,1997):

$$h_1 = h_2 \quad (6)$$

Las potencias son proporcionales al cuadrado de sus diámetros, como se puede observar en la ecuación 7, donde se observa esta relación (Hartman,1997):

$$\frac{BHP_1}{BHP_2} = \frac{D_1^2}{D_2^2} \quad (7)$$

Las eficiencias son independientes de los diámetros, como se observa en la ecuación 8(Hartman,1997):

$$n_1 = n_2 \quad (8)$$

2.1.6.3 Tercera Ley. Ramos. R. W. (2018). Si cambiamos la densidad del aire y mantenemos constante las velocidades y los diámetros del ventilador.

En este caso los volúmenes permanecen constantes, como se puede observar en la ecuación 9 mostrada a continuación (Hartman,1997):

$$Q_1 = Q_2 \quad (9)$$

Las presiones son directamente proporcionales a las densidades, como se puede observar en la ecuación 10 detallada a continuación (Hartman,1997):

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{D_1}{D_2} \quad (10)$$

Las potencias son proporcionales en forma directa de las densidades como se demuestra en la ecuación 11 (Hartman,1997):

$$\frac{BHP_1}{BHP_2} = \frac{D_1}{D_2} \quad (11)$$

2.1.7 Regulación legal

La base legal en referencia a la ventilación se encuentra en el DS 024 y su última modificatoria 034 -2023 EM, a continuación, se detallan Ministerio de Energía y Minas (MINEM, (2016), (MINEM (2023))

Art 246.- El titular de actividad minera debe velar por el suministro de aire limpio a las labores de trabajo de acuerdo a las necesidades del trabajador, de los equipos y para evacuar los gases, humos y polvo suspendido que pudieran afectar la salud del trabajador, así como para mantener condiciones termo-ambientales confortables. 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 de acuerdo al ANEXO 15 y lo establecido en el Reglamento sobre valores límite permisibles para agentes químicos en el ambiente de trabajo, aprobado por Decreto Supremo N° 015-2005-SA o la norma que lo modifique o sustituya. Además, debe cumplir lo siguiente:

- (a) Al inicio de cada jornada o antes de ingresar a labores mineras, en especial labores ciegas programadas, como son chimeneas y piques, deben realizarse mediciones de gases de monóxido de carbono, dióxido de carbono, dióxido de nitrógeno, oxígeno y otros, de acuerdo a la naturaleza del yacimiento, al uso de explosivos y al uso de equipos con motores petroleros, las que deben ser registradas y comunicadas a los trabajadores que tienen que ingresar a dicha labor.
- (b) En todas las labores subterráneas se debe mantener una circulación de aire limpio y fresco en cantidad y calidad suficientes de acuerdo con el número de trabajadores, con el total de HP de los equipos con motores de combustión interna, así como para la dilución de los gases que permitan contar en el ambiente de trabajo con un mínimo de diecinueve puntos cinco por ciento (19.5 %) de oxígeno.
- (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.
- (d) Cuando la ventilación natural no sea capaz de cumplir los artículos precedentes, debe emplearse ventilación mecánica, instalando ventiladores principales, secundarios o auxiliares, según las necesidades.
- (e) Los ventiladores principales, secundarios y auxiliares deben ser instalados adecuadamente, para evitar cualquier posible recirculación del aire. No está permitido que los frentes de desarrollo, de chimeneas y labores de explotación sean ventiladas con aire usado.
- (f) En labores que posean sólo una vía de acceso y que tengan un avance de más de sesenta metros (60 m), es obligatorio el empleo de ventiladores auxiliares. En

longitudes de avance menores a sesenta metros (60 m) se debe emplear también ventiladores auxiliares sólo cuando las condiciones ambientales así lo exijan. En las labores de desarrollo y preparación se deben instalar mangas de ventilación a no más de quince metros (15 m) del frente de disparo.

- (g) Cuando existan indicios de estar cerca de una cámara subterránea de gas o posibilidades de un desprendimiento súbito de gas, se deben efectuar taladros paralelos y oblicuos al eje de la labor, con por lo menos diez metros (10 m) de avance.”

Artículo 247.- En los lugares de trabajo de las minas ubicadas hasta mil quinientos (1,500) metros sobre el nivel del mar, la cantidad mínima de aire necesario por hombre será de tres metros cúbicos por minuto ($3 \text{ m}^3/\text{min}$). En otras altitudes la cantidad de aire será de acuerdo a la siguiente escala:

- De 1,500 a 3,000 msnm aumentará en 40% que será igual a $4 \text{ m}^3/\text{min}$
- De 3,000 a 4,000 msnm aumentará en 70% que será igual a $5 \text{ m}^3/\text{min}$
- Sobre los 4,000 msnm aumentará en 100% que será igual a $6 \text{ m}^3/\text{min}$.

Artículo 248.- En ningún caso la velocidad del aire será menor de veinte metros por minuto ($20 \text{ m}/\text{min}$) ni superior a doscientos cincuenta metros por minuto ($250 \text{ m}/\text{min}$) en las labores de explotación, incluido el desarrollo y preparación. Cuando se emplee explosivo ANFO u otros agentes de voladura, la velocidad del aire no será menor de veinticinco metros por minuto ($25 \text{ m}/\text{min}$).

Artículo 249.- Se toman todas las providencias del caso para evitar el deterioro y paralización de los ventiladores principales. Dichos ventiladores deben cumplir las siguientes condiciones:

- Ser instalados en casetas incombustibles y protegidas contra derrumbes, golpes, explosivos y agentes extraños. Los ventiladores en superficie, así como las instalaciones eléctricas deben contar con cercos perimétricos adecuados para

evitar el acceso de personas extrañas. Contar con otras precauciones aconsejables según las condiciones locales para protegerlas.

- Tener, por lo menos, dos (2) fuentes independientes de energía eléctrica que, en lo posible, deben llegar por vías diferentes.
- Estar provistos de silenciadores para minimizar los ruidos en áreas de trabajo o en zonas con poblaciones donde puedan ocasionar perjuicios en la salud de las personas.
- Estar provistos de dispositivos automáticos de alarma para caso de paradas. (*)
- Cumplir estrictamente las especificaciones técnicas dispuestas por el fabricante para el mantenimiento preventivo y correctivo de los ventiladores.

Artículo 250.- En casos de falla mecánica o eléctrica de los ventiladores principales, secundarios y auxiliares que atienden labores mineras en operación, éstas deben ser paralizadas y clausuradas su acceso, de forma que se impida el pase de los trabajadores y equipos móviles hasta verificar que la calidad y cantidad del aire haya vuelto a sus condiciones normales. Los trabajos de restablecimiento serán autorizados por el ingeniero supervisor.

Artículo 251.- Para los ventiladores principales con capacidades iguales o superiores a 2,831 metros cúbicos por minuto o su equivalente de 100,000 pies cúbicos por minuto, se deben instalar paneles de control que permitan su monitoreo de operación, su regulación a parámetros requeridos, la emisión de señales de alarma en caso de paradas y el arranque automático de los equipos de emergencia en caso de un corte de energía.

Para el caso de ventiladores extractores de aire usado, el monitoreo también comprende el contenido de gases de monóxido de carbono, gases nitrosos, oxígeno y temperatura en el aire circulante.

Los paneles de control deben contar con baterías de respaldo que les permita seguir funcionando en caso de fallas en el suministro de energía eléctrica.

La operación de los paneles de control se realiza sólo por la supervisión autorizada

Artículo 252.- Se deben efectuar evaluaciones integrales del sistema de ventilación de una mina subterránea cada semestre y evaluaciones parciales del mismo cada vez que se produzcan conexiones de labores y cambios en los circuitos de aire. Dichas evaluaciones deben ser realizadas por personal especializado en la materia de ventilación. Asimismo, se deben efectuar controles permanentes de ventilación en las labores de exploración, desarrollo, preparación y explotación donde haya personal trabajando. La evaluación integral de ventilación debe considerar:

- (a) Ubicación de estaciones de control de ventilación.
- (b) Circuitos de aire de la mina.
- (c) Balance de ingresos y salidas de aire de la mina. La diferencia de caudales de aire entre los ingresos y salidas de aire no debe exceder el diez por ciento (10 %).
- (d) La demanda de aire de la mina debe ser la cantidad de aire requerida por los trabajadores, para mantener una temperatura de confort del lugar de trabajo y para la operación de los equipos petroleros. Cuando en la operación no se usen equipos con motor petrolero debe considerarse el aire requerido para diluir los gases de las voladuras de acuerdo al anexo 38.

La madera empleada al interior de la mina para labores de sostenimiento, entre otras, genera emisiones de gases de CO₂ y CH₄, factor que debe ser tomado en cuenta para el cálculo del aire necesario al interior de la mina. Este factor se determina de manera proporcional a la producción.

Para el cálculo debe considerarse la siguiente escala:

- Si el consumo de madera es del 20 % hasta el 40 % del total de la producción, el factor de producción debe ser de 0.60 m³/min.
- Si el consumo de madera es del 41 % hasta el 70 % del total de la producción, el factor de producción debe ser de 1.00 m³/min.
- Si el consumo de madera es mayor al 70 % del total de la producción, el factor de producción debe ser de 1.25 m³/min.

Para mantener la temperatura de confort en el lugar de trabajo, se debe considerar en el cálculo del requerimiento de aire una velocidad mínima de 30 m/min, cuando la temperatura se encuentre en el rango de 24°C hasta 29°C como máximo.

- (e) El requerimiento de aire para los equipos que operan con motores petroleros no debe ser menor de tres (3) m³/min, por la capacidad efectiva de potencia (HP) y en función a su disponibilidad mecánica y utilización de acuerdo a la evaluación realizada por la titular de actividad minera que considere también la altitud, el calor de los motores y las emisiones de gases y partículas en suspensión.
- (f) Cobertura de la demanda de aire de la mina con el aire que ingresa a la misma.
- (g) Cobertura de las demandas de aire en las labores de exploración, desarrollo, preparación y explotación de la mina.
- (h) Mediciones de oxígeno, dióxido de carbono, gases tóxicos y temperatura ambiental en las vías principales de la mina y labores en operación.
- (i) Ubicación de ventiladores, indicando capacidad de diseño y operación.
- (j) Disponibilidad de las curvas de rendimiento de los ventiladores.
- (k) Planos de ventilación de la mina, indicando los circuitos de aire y estaciones de control, ubicación de ventiladores, puertas de ventilación, tapones y otros. Las evaluaciones de ventilación y mediciones de la calidad del aire se deben hacer con instrumentos adecuados y con calibración vigente para cada necesidad.

Artículo 253.- Está terminantemente prohibido el ingreso de vehículos con motores de combustión a gasolina a minas subterráneas.

Artículo 254.- En las labores mineras subterráneas donde operan equipos con motores petroleros deben adoptarse las siguientes medidas de seguridad:

- (a) Los equipos deben estar diseñados para asegurar que las concentraciones de emisión de gases al ambiente de trabajo sean las mínimas técnicamente posibles y las concentraciones en el ambiente de trabajo se encuentren siempre por debajo

del límite de exposición ocupacional para agentes químicos los que se encuentran detallados en el ANEXO 15 del presente reglamento.

Para la toma de muestras debe darse cumplimiento a las disposiciones aprobadas por la autoridad de salud, Decreto Supremo N° 015-2005-SA, sus normas complementarias y sustitutorias.

- (b) La cantidad de aire circulante debe asegurar que las emisiones de gases en sus escapes no superen las concentraciones indicadas en los literales (c), (d) y (e) subsiguientes.
- (c) Monitorear y registrar semanalmente las concentraciones de monóxido de carbono (CO) en el escape de los equipos operando en el interior de la mina, las que se deben encontrar por debajo de quinientos (500) partes por millón (ppm) de CO.
- (d) Monitorear y registrar semanalmente concentraciones de dióxido de nitrógeno en el escape de las máquinas operando en interior mina, no debiendo superar cien (100) partes por millón (ppm) de NO₂.
- (e) Las operaciones de los equipos petroleros se deben suspender, prohibiendo su ingreso a labores de mina subterránea, en los siguientes casos:
 - Cuando las concentraciones de monóxido de carbono (CO) y/o gases de dióxido de nitrógeno (NO₂) en el ambiente de trabajo se encuentren por encima del límite de exposición ocupacional para agentes químicos establecidos en el Anexo 15 del presente reglamento.
 - Cuando la emisión de gases por el escape de dicha máquina exceda de quinientos (500) ppm de monóxido de carbono o de cien (100) ppm de dióxido de nitrógeno, medidos en las labores subterráneas donde desarrollen sus actividades.
- (f) Establecer y ejecutar programas mensuales de mantenimiento preventivo de los equipos, de acuerdo a las recomendaciones de los fabricantes, para reducir las emisiones de gases y material particulado (hollín) de los motores petroleros.

Artículo 255.- En toda mina subterránea, donde se utilicen explosivos y equipos con motores petroleros, el titular de actividad minera debe proveer a sus trabajadores el respirador de auto rescate para su protección contra gases de monóxido de carbono, en función a la evaluación de riesgo de los trabajos a realizarse.

Estos respiradores son utilizados por los trabajadores sólo en casos de emergencia individual o colectiva cuando estos gases pongan en riesgo inminente su vida, para salir de la mina o para ubicarse en una zona de aire fresco.

Estos respiradores deben estar fabricados para una protección mínima de treinta (30) minutos.

Artículo 256.- En las labores mineras subterráneas donde haya liberación de gases o labores abandonadas gaseadas deberán adoptarse las siguientes medidas de seguridad:

- (a) Contar con equipos de ventilación forzada capaz de diluir los gases a concentraciones por debajo del límite de exposición ocupacional para agentes químicos.
- (b) Clausurar las labores por medio de puertas o tapones herméticos que impidan el escape de gases y señalizarlos para evitar el ingreso de personas.

Artículo 257.- La sala o estación de carguío de baterías, deberán estar bien ventiladas con un volumen suficiente de aire para prevenir la acumulación de gas hidrógeno.

La sala o estación debe tener avisos de prohibición de fumar, del uso de llamas abiertas o del desarrollo de otras actividades que pudieran crear una fuente de ignición durante la actividad de cargado de baterías.

Para el funcionamiento de la sala o estación en el subsuelo, previamente se deberá presentar a la autoridad competente la memoria descriptiva, el plano de ubicación y el plano de ventilación.

El cumplimiento de esta obligación será verificado en la fiscalización que realice la autoridad competente.

2.2 Marco conceptual

2.2.1 Cálculo de requerimiento de aire de la mina

Cuando en la operación se utilice equipos petroleros, debe ser calculada de acuerdo al artículo 252 del Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería D.S. °024 – 2016 EM y su última modificatoria N° 034 – 2023 – EM. La demanda de aire de la mina debe ser la cantidad de aire requerida por los trabajadores, para mantener una temperatura de confort del lugar de trabajo y para la operación de los equipos petroleros.

2.2.1.1 Caudal requerido por el número de trabajadores. Según el artículo 247 del Reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería, Decreto Supremo N°023 – 2017 - EM. Se tiene que:

En los lugares de trabajo de las minas ubicadas hasta 1,500 m s. n. m., la cantidad mínima de aire necesario por hombre será de 3 m³ /min. En otras altitudes la cantidad de aire será de acuerdo a la siguiente escala:

- De 1500 a 3000 m s. n. m. aumentará en 40% que será igual a 4 m³/min.
- De 3000 a 4000 m s. n. m. aumentará en 70% que será igual a 5 m³/min
- Sobre los 4000 m s. n. m. aumentará en 100% que será igual a 6 m³/min

Fórmula:

El caudal requerido por trabajadores en las labores queda representado por la ecuación 12, donde se describe como el producto de la guardia más numerosa por el caudal mínimo por persona de acuerdo a la altitud:

$$Q_{tr} = F * n (m^3 / min) \quad (12)$$

Dónde:

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.

2.2.1.2 Caudal requerido por el consumo de madera. El cálculo del caudal por madera se describe en la ecuación 13, donde se describe el cálculo como el producto de la producción en TMH por guardia y el factor de producción:

$$Q_{Ma} = T * U(m^3/min) \quad (13)$$

Dónde:

Q_{Ma} = caudal requerido por consumo de madera (m³/min)

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

T = producción en toneladas métricas húmedas por guardia.

2.2.1.3 Caudal requerido por temperaturas en las labores de trabajo. El cálculo del caudal por temperatura se describe en la ecuación 14, donde esta depende del número de niveles con temperatura mayor a 23°C, al área promedio de las labores y a la velocidad mínima por temperatura:

$$Q_{te} = V_m * A * N (m^3 / min) \quad (14)$$

Dónde:

Q_{te} = caudal por temperatura (m³/min)

A = área promedio de labores (m²);

V_m = velocidad mínima (m/min);

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.

2.2.1.4 Caudal requerido por equipo con motor petrolero. El cálculo del caudal por equipos diésel o motor petrolero, se describe en la ecuación 15 donde esta depende de la capacidad efectiva de la potencia, disponibilidad mecánica y utilización:

$$Q_{eq} = 3 * HP * D_m * F_u(m^3 / min) \quad (15)$$

Dónde:

Q_{eq} = volumen necesario para la ventilación (m³/min)

HP = capacidad efectiva de potencia (HP);

D_m = disponibilidad mecánica promedio de los equipos (%).

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

2.2.1.5 Caudal requerido por fugas. El caudal requerido por fugas se describe por la ecuación 16, en el cual se muestra el cálculo por fugas que corresponde al 15% de la suma del cálculo de requerimiento de aire por trabajadores, madera, temperatura y equipos petroleros:

$$Q_{fu} = 15\% * Q_{t1} (m^3 / min) \quad (16)$$

Donde:

Q_{t1} : es el requerimiento subtotal de aire como se describe en a la ecuación 17:

$$Q_{t1} = Q_{tr} + Q_{te} + Q_{ma} + Q_{eq} \quad (17)$$

2.2.1.6 Requerimiento de aire total. El cálculo total de requerimiento de aire se describe en la ecuación 18 donde, se calcula como la sumatoria del caudal de fugas y el subtotal

$$Q_{to} = Q_{t1} + Q_{fu} \quad (18)$$

Donde:

Q_{to} = caudal total para la operación

Q_{t1} = la sumatoria de caudal requerido por: (a) el número de trabajadores, (b) el consumo de madera, (c) temperatura en las labores de trabajo y (d) equipos con motor petrolero.

2.2.2 Selección de ventiladores

Al momento de seleccionar un ventilador y las mangas de ventilación que se requerirán debe tenerse en cuenta lo siguiente:

- (a) Requerimiento de aire fresco en la labor. Se realiza un cálculo de requerimiento local de aire (personas, madera, temperatura, equipos diésel)

- (b) Selección del ventilador. Se tiene de forma práctica la relación para el área de la manga y el área de la labor que es de 1: 20.
- (c) Presión de fricción. La presión requerida para vencer a las pérdidas de fricción para movilizar un determinado volumen de por la manga de ventilación, las galería y laboreos mineros.
- (d) Velocidad del flujo de aire. La velocidad necesaria para movilizar el volumen de aire deseado a través de la manga de ventilación.
- (e) Potencia Efectiva. La potencia efectiva se halla mediante la siguiente ecuación 19, donde la potencia está en función del producto de la presión, caudal y eficiencia mecánica del ventilador. (Hartman. L. ,1997)

$$BHP = (H * Q)/(6350 * e) \quad (19)$$

Dónde:

BHP = potencia efectiva del ventilador; HP

H = caída de presión total del flujo de aire; pulgadas de agua

Q = caudal de aire circulante; cfm

e = eficiencia mecánica del ventilador; oscila entre 0.7 a 0.95. Normalmente se considera 0.90

Esta potencia efectiva hallada para la cota de trabajo debe corregirse al nivel del mar, para realizar la compra del ventilador.

2.2.3 Circuitos de ventilación

2.2.3.1 En serie. Son labores mineras las cuales son de un conducto o conformados por varios ramales en una sola dirección lineal, no se bifurcan y el caudal del aire recorre uniformemente en dirección de entrada y salida.

En este caso de circuitos la presión total del circuito está dada por la suma de las presiones parciales de cada tramo o cada ramal en toda la labor minera como se muestra en la ecuación 20, donde se describe la sumatoria de las presiones de los ramales o labores (Hartman. L. ,1997)

$$H_t = H_1 + H_2 + H_3 \dots + H_n \quad (20)$$

Recordar la ecuación de Atkinson, como se describe en la ecuación 21, donde relaciona la pérdida de presión con el cuadrado del caudal de aire

$$H = RQ^2 \quad (21)$$

Por lo tanto, la resistencia total, es la suma de las resistencias parciales en cada tramo o ramal, como se puede observar en la ecuación 22, se describe a la resistencia total como la suma de cada una de las resistencias del sistema o circuito (Hartman. L. ,1997)

$$R_t = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n \quad (22)$$

Y el caudal total que recorren los ramales es igual a cada uno de los caudales parciales en cada ramal, el cual se explica en la ecuación 23 (Hartman. L. ,1997)

$$Q_t = Q_1 = Q_2 \quad (23)$$

2.2.3.2 En paralelo. Se entiende un circuito en paralelo cuando las labores mineras se dividen en un nodo para posteriormente juntarse en otro punto o nodo. De esta forma la cantidad de aire que se tiene antes del primer nodo, es igual a la cantidad de aire que sale a través del segundo nodo.

Como se puede observar en la ecuación 24, la pérdida de presión total del circuito de ventilación es igual las pérdidas de presión individuales en cada ramal (Hartman. L. ,1997)

$$H_t = H_1 = H_2 = H_3 = \dots = H_n \quad (24)$$

El caudal total del circuito equivalente es la suma de los caudales parciales de los ramales, como se describe en la ecuación 25 (Hartman. L. ,1997)

$$Q_t = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n \quad (25)$$

La resistencia total del circuito equivalente se determina por medio de la ecuación de Atkinson mencionada en la ecuación 21

$$H = RQ^2 \quad (21)$$

Despejando el caudal o volumen de aire, se muestra en la ecuación 26, donde se muestra el caudal de un ramal en función de la pérdida de presión y resistencia (Hartman. L. ,1997)

$$Q = \sqrt{\frac{H}{R}} \quad (26)$$

Al reemplazar en la ecuación 25 mostrada anteriormente se tiene la ecuación 27

$$\frac{\sqrt{H}}{\sqrt{R_t}} = \sqrt{\frac{H}{R_1}} + \sqrt{\frac{H}{R_2}} + \sqrt{\frac{H}{R_3}} + \sqrt{\frac{H}{R_n}} \quad (27)$$

Se obtiene finalmente que la resistencia total o el equivalente de la resistencia al simplificar un circuito o sistema en la ecuación 28: (Hartman. L. ,1997)

$$\frac{1}{\sqrt{R_t}} = \frac{1}{\sqrt{R_1}} + \frac{1}{\sqrt{R_2}} + \frac{1}{\sqrt{R_3}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{R_n}} \quad (28)$$

2.2.4 Caída de presión de aire

La caída de presión se produce la pérdida de energía que experimento un fluido en este caso el aire al recorrer las labores o las mangas de ventilación:

En el primer caso la pérdida de energía se produce al chocar las partículas de aire con la superficie de la labor o mangas de ventilación, produciéndose en este caso una mayor pérdida de energía cuanto más irregular sea la labor.

La otra forma de pérdida de energía es por choque del aire contra los obstáculos (contracciones, curvas, expansiones, bifurcaciones).

Formula de Atkinson:

Para calcular la caída de presión se utilizó la fórmula de Atkinson, como se observa en la ecuación 29 el cual muestra el cálculo de la pérdida de presión en un conducto o ramal (Hartman. L. ,1997)

$$H = \frac{KP(L + L_e)Q^2}{5.2 * A^3} \quad (29)$$

Dónde:

H = caída de presión.

K = coeficiente de fricción.

P = perímetro(ft).

L = longitud(ft).

L_e = longitud equivalente(ft).

Q = caudal de aire; ft^3/min .

A = área transversal del ducto; ft^2 .

Para calcular el coeficiente de fricción utilizamos la tabla de Hartman:

Tabla 1

Factores de fricción K

TIPO DE LABOR	Irregularidades de la superficie	SINUOSIDAD											
		RECTA			LEVE MODERADO EN ALTO GRADO								
		Limpia	Obstrucción pequeña	Obstrucción moderada	Limpia	Obstrucción pequeña	Obstrucción moderada	Limpia	Obstrucción pequeña	Obstrucción moderada	Limpia	Obstrucción pequeña	Obstrucción moderada
Revestida, Superficie Suave	Mínimo	10	15	25	20	25	35	25	30	40	35	40	50
	Promedio	15	20	30	25	30	40	30	35	45	40	45	55
	Máximo	20	25	35	30	35	45	35	45	50	45	50	60
Roca Sedimentario	Mínimo	30	30	45	40	45	55	45	50	60	55	60	70
	Promedio	55	60	70	65	70	80	70	75	85	80	85	95
	Máximo	70	75	85	80	85	95	85	95	100	95	100	110
Enmaderada Cuadros de Spies	Mínimo	80	85	95	90	95	100	95	100	110	105	110	120
	Promedio	95	100	110	105	110	120	110	115	125	120	125	135
	Máximo	105	110	120	115	120	130	120	125	135	130	135	145
Roca ígnea	Mínimo	90	95	105	100	105	115	105	110	120	115	120	130
	Promedio	145	150	160	155	160	165	160	165	175	170	175	195
	Máximo	195	200	210	205	210	220	210	215	225	220	225	235

Fuente: Hartman, H. L. (1997). Mine ventilation and air conditioning. Wiley Interscience Ecuación 3.

Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación

3.1 Diagnóstico de la red y circuito de ventilación en U.E.A Capitana

El diagnóstico del sistema de ventilación y circuito de ventilación de la U.E.A Capitana inició con la recolección de datos en campo, esto comprende la medición de aforos de ingreso y salida de aire de mina.

Con lo cual se llega a calcular el balance de aire de mina en ingresos y salidas, Asimismo se realiza el cálculo de requerimiento de aire global en mina con el fin de calcular cobertura del sistema de ventilación.

El requerimiento de aire global se calcula por cantidad de personal, consumo de madera, temperatura y equipos Diesel.

Las mediciones de velocidad de aire temperatura, humedad se realiza con instrumentos de medición o anemómetros.

3.2 Análisis de velocidad de aire en las estaciones de monitoreo en interior mina

Se realiza la medición de velocidad de aire en las estaciones de monitoreo en interior mina en los niveles donde se encuentra trabajando, en total se monitorearon 384 estaciones de monitoreo, de las cuales el 37% de las estaciones no cumple con la velocidad mínima de aire acorde al Reglamento del DS 024 y su modificatoria 023 EM 2017.

La tabla 2 muestra las estaciones de monitoreo por cada nivel desde el Nv. 1440 hasta el Nv. 2020, en donde estaciones permisibles son aquellas donde la velocidad de aire es mayor o igual a 20 m/min y las estaciones no permisibles se considera a estaciones cuya velocidad se encuentra por debajo de 20 m/min.

Tabla 2*Estaciones de monitoreo de U.E.A Capitana*

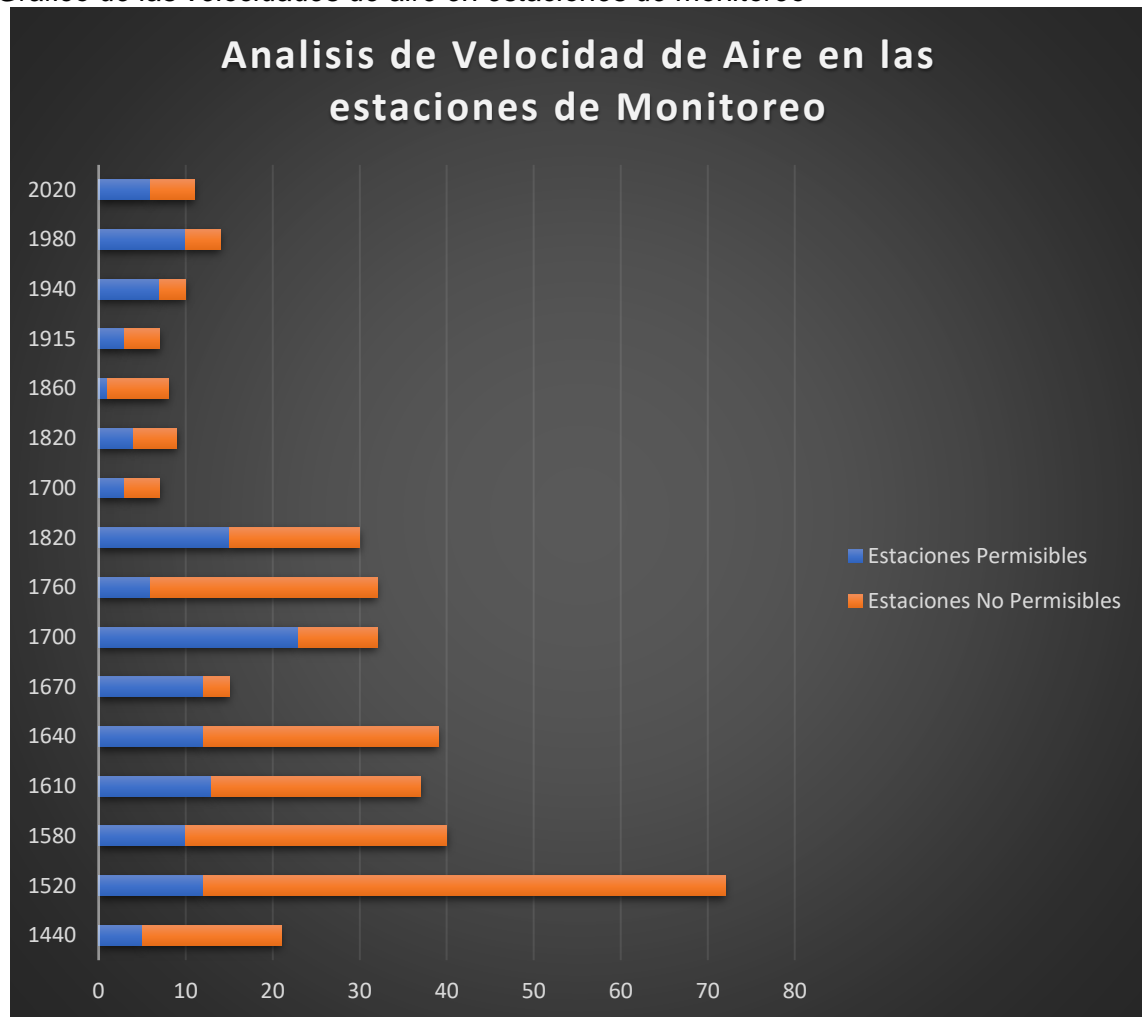
NIVELES	ESTACIONES		TOTAL
	NO PERMISIBLE	PERMISIBLE	
1440	5	16	21
1520	12	60	72
1580	10	30	40
1610	13	24	37
1640	12	27	39
1670	12	3	15
1700	23	9	32
1760	6	26	32
1820	15	15	30
1700	3	4	7
1820	4	5	9
1860	1	7	8
1915	3	4	7
1940	7	3	10
1980	10	4	14
2020	6	5	11

Fuente: Elaboración propia

La figura 1 muestra el análisis de la velocidad de aire en las estaciones de monitoreo en los 16 niveles en operación donde se puede observar que son muy pocas las estaciones permisibles en los niveles en las que las velocidades del aire por ventilación natural es 20 m/min. Asimismo, se observa que en los niveles superiores como el Nv 2020 se observa que hay mayor cantidad de estaciones las cuales superan la velocidad de 20 m/ min. Esto se debe a que esta bocamina es el primer punto de salida de aire viciado y de menor cota de todo el circuito de ventilación integral.

Figura 1

Gráfico de las velocidades de aire en estaciones de monitoreo



Fuente: Elaboración propia.

3.3 Análisis de temperatura y humedad en interior mina

En la Tabla 3 se detalla la temperatura promedio en las estaciones de monitoreo por cada nivel de la zona de estudio, tener en cuenta que en total son 17 niveles, de los cuales 16 niveles tienen temperatura mayor a 24° C.

Esto significa que para cálculos de requerimiento de aire total debe considerarse el cálculo por temperatura debido a que es mayor que 24°C.

Tabla 3

Temperatura en los niveles de mina de la U.E.A Capitana

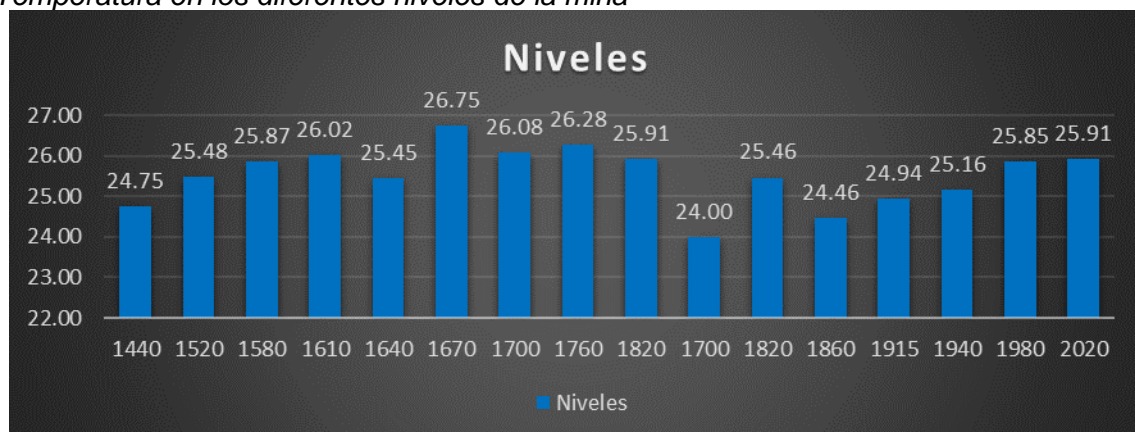
NIVELES	TEMPERATURA (°C)
1440	24.75
1520	25.48
1580	25.87
1610	26.02
1640	25.45
1670	26.75
1700	26.08
1760	26.28
1820	25.91
1700	24.00
1820	25.46
1860	24.46
1915	24.94
1940	25.16
1980	25.85
2020	25.91

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 2 se muestra la distribución de las temperaturas en los niveles en operación en donde se observa que la mayor temperatura se encuentra en el Nv 1670 esto es debido a la profundidad de 2 Km. Asimismo en nivel con menor temperatura es el Nv 1700 en el XC 720 N debido a su cercanía de la bocamina.

Figura 2

Temperatura en los diferentes niveles de la mina



Fuente: Elaboración propia.

3.4 Balance de ingreso y salida de aire:

De acuerdo al Art.252 del D.S.024 y su Modificatoria N°023 2017 EM establece que la diferencia de las caudales de ingreso y salida no debe exceder al 10%. Asimismo, el caudal de aire viciado de ser mayor que el caudal de aire fresco. Asimismo, con este cálculo se tendrá el caudal de aire fresco que ingresa a mina y se procederá a calcular la cobertura de la mina respecto al requerimiento total de aire.

Para el caso de la Mina Caravelí, consideramos un solo circuito de Ventilación la Zona I y II por estar unificadas mediante en Nv 1700 por el XC 720 N. A continuación, se detalla los puntos de medición de ingresos de aire.

3.4.1 Puntos de ingreso de aire de mina

En la tabla 4 se muestra los 13 puntos de monitoreo de ingreso de aire en la mina Capitana en todos los niveles y sus dimensiones.

Tabla 4

Estaciones de monitoreo de ingreso de aire fresco

Ítem	Estación de Monitoreo	Nivel	labor	Tipo	Ancho (m)	Alto (m)	Área	Referencia
1	PM E-05-ZI	1980	XC 980	Entrada	1.94	2.05	3.78	A 10 m de Bocamina
2	PM E-04-ZI	1880	XC 880	Entrada	1.93	2.11	3.87	A 10 m de Bocamina
3	PM E-03-ZI	1860	XC 860	Entrada	1.61	2.07	3.17	A 10 m de Bocamina
4	PM E-02-ZI	1820	XC 815	Entrada	2.68	2.82	7.18	A 10 m de Bocamina
5	PME-06-ZI	1850	CH 440	Entrada	2.40	1.20	2.88	Chimenea en superficie
6	PM E-01-ZI	1700	XC 699	Entrada	2.81	2.71	7.23	A 10 m de Bocamina
7	PME – 07- ZII	1700	XC 700	Entrada	3.55	3.59	12.11	A 15 m de Bocamina
8	PME-06-ZII	1670	XC 670	Entrada	1.59	2.19	3.31	A 15 m de Bocamina
9	PME-05-ZII	1640	XC 640	Entrada	1.50	2.15	3.06	A 15 m de Bocamina
10	PME-04-ZII	1610	XC 610	Entrada	1.30	1.78	2.20	A 15 m de Bocamina
11	PME-03-ZII	1580	XC 580	Entrada	2.00	2.20	4.18	A 15 m de Bocamina
12	PME-02-ZII	1520	XC 520	Entrada	1.80	2.02	3.45	A 15 m de Bocamina
13	PME-01-ZII	1440	XC 440	Entrada	3.48	3.55	11.74	A 15 m de Bocamina

Fuente: Elaboración propia.

3.4.2 Puntos de salida de aire de mina

A continuación, se muestran en la tabla 5 los puntos de monitoreo de salida de aire viciado con sus características y dimensiones:

Tabla 5*Estaciones de monitoreo de salida de aire viciado*

Ítem	Estación de Monitoreo	Nivel	Labor	Tipo	Ancho (m)	Alto (m)	Área *0.95 m ²	Referencia
1	PM S-07-ZI	2130	XC 130	Salida	2.50	2.19	5.20	A 10 m de Bocamina
2	PME – 08 –ZI	2100	XC 100	Salida	1.60	1.70	2.58	A 10 m de Bocamina
3	PMS-06-ZI	2060	XC 050	Salida	1.95	1.90	3.52	A 10 m de Bocamina
4	PM S-04-ZI	2020	XC 020	Salida	2.35	2.53	5.65	A 10 m de Bocamina
5	PM S-03-ZI	2020	XC 025	Salida	2.17	2.31	4.76	A 10 m de Bocamina
6	PM S-02-ZI	1940	XC 940	Salida	2.14	2.32	4.72	A 10 m de Bocamina
7	PM S-01-ZI	1915	XC 915	Salida	1.99	2.09	3.95	A 10 m de Bocamina
8	PME-15-ZII	2130	XC 130	Salida	0.8	0.9	0.72	A 10 m de Bocamina
9	PMS-11-ZII	2070	XC 070	Salida	1.26	1.86	2.23	A 10 m de Bocamina
10	PMS-10-ZII	2100	XC 100	Salida	1.30	2.00	2.47	A 10 m de Bocamina
11	PMS-09-ZII	2130	XC 130	Salida	1.20	1.20	1.37	A 10 m de Bocamina
12	PMS-08-ZII	2070	XC 070	Salida	1.93	2.35	4.31	A 10 m de Bocamina
13	PMS-07-ZII	2040	XC 040	Salida	1.27	1.89	2.28	A 10 m de Bocamina
14	PMS-06-ZII	2000	XC 200	Salida	1.50	1.80	2.57	A 10 m de Bocamina
15	PMS-05-ZII	1960	XC 960	Salida	1.33	1.95	2.46	A 10 m de Bocamina
16	PMS-04-ZII	1920	XC 920	Salida	1.31	1.94	2.41	A 10 m de Bocamina
17	PMS-03-ZII	1890	XC 890	Salida	1.42	1.77	2.39	A 10 m de Bocamina
18	PMS-02-ZII	1850	XC 850	Salida	1.19	1.67	1.89	A 10 m de Bocamina
19	PMS -09 –ZI	1980	CH – 160	Salida	1.93	2.13	3.91	Chimenea en Superficie
20	PMS-01-ZII	1820	XC 820	Salida	1.54	2.04	2.98	A 10 m de Bocamina

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se realiza el balance de ingreso y salidas de aire en U.E.A Capitana:

Tabla 6

Puntos de monitoreo de aire fresco

INGRESOS – U.E.A. CAPITANA																				
ÍTEM	ESTACIÓN DE MONITOREO	NIVEL	T (C°)	HR (%)	ANCHO (m)	ALTO (m)	ÁREA *0.95 m ²	VELOCIDADES									VELOCIDAD PROMEDIO		CAUDAL (Q)	
								V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	(m/s)	(m ³ /min)	(m ³ /min)	CFM
1	PM E-05-ZI	1980	23.00	64.20	1.60	1.80	2.74	0.15	0.18	0.13	0.11	0.09	0.08	0.09	0.14	0.13	0.12	7.33	20.06	708.41
2	PM E-04-ZI	1880	21.00	70.10	1.70	1.90	3.07	0.30	0.37	0.53	0.42	0.39	0.64	0.40	0.38	0.57	0.44	26.67	81.83	2,891.40
3	PM E-03-ZI	1860	21.10	76.40	1.80	1.30	2.22	0.48	0.54	0.56	0.57	0.85	0.42	0.67	0.65	0.77	0.61	36.73	81.66	2,885.45
4	PM E-02-ZI	1820	21.00	77.40	2.50	2.40	5.70	0.42	0.55	0.52	0.33	0.37	0.45	0.37	0.43	0.55	0.44	26.60	151.62	5,357.60
5	PME- 06 - ZI	1850	23.00	68.00	2.40	1.20	2.88	0.15	0.20	0.20	0.26	0.28	0.27	0.26	0.24	0.32	0.24	14.53	41.86	1,479.01
6	PM E-01-ZI	1700	22.30	75.40	2.40	2.40	5.47	0.93	0.95	1.08	0.91	1.03	1.04	1.07	0.99	1.10	1.01	60.67	331.97	11,730.32
7	PM E-07-ZII	1700	22.90	60.10	1.43	1.74	2.36	0.62	0.72	0.92	0.63	0.88	1.07	0.43	0.72	0.79	0.75	45.20	106.8	3771.6
8	PM E-06-ZII	1670	18.60	75.40	1.36	1.92	2.48	0.83	0.94	0.86	0.99	1.09	1.00	1.00	1.16	0.96	0.98	58.87	146.0	5155.99
9	PM E-05-ZII	1640	19.40	73.20	1.52	1.68	2.43	0.73	1.17	0.81	0.98	1.51	1.63	0.91	1.36	1.54	1.18	70.93	172.1	6077.7
10	PM E-04-ZII	1610	19.80	72.30	1.41	1.82	2.44	1.19	1.34	1.13	1.29	1.84	1.70	1.27	1.78	1.80	1.48	88.93	216.8	7,656.29
11	PM E-03-ZII	1580	20.30	70.70	1.65	1.97	3.09	0.86	1.26	1.14	1.09	1.43	1.29	1.14	1.49	1.56	1.25	75.07	231.8	8,186.021.
12	PM E-02-ZII	1520	19.50	73.10	2.05	2.02	3.93	1.47	2.10	2.25	1.28	1.41	1.95	1.33	1.64	1.87	1.70	102.00	401.3	14,171.9
13	PM E-01-ZII	1440	25.40	70.10	3.60	3.60	12.31	2.17	1.96	1.51	2.04	1.89	1.69	1.89	1.97	1.54	1.85	111.07	1367.5	48,293.26
TOTAL DE INGRESO DE AIRE U.E.A CAPITANA																		3351.3	118,351.16	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7

Puntos de monitoreo de salida de aire viciado

INGRESOS – U.E.A. CAPITANA																					
ÍTEM	ESTACIÓN DE MONITOREO	NIVEL	T (C°)	HR (%)	ANCHO (m)	ALTO (m)	ÁREA *0.95 m ²	VELOCIDADES									VELOCIDAD PROMEDIO		CAUDAL (Q)		
								V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	(m/s)	(m/min)	(m ³ /min)	CFM	
1	PM S-07-ZI	2130	23.80	96.20	2.00	2.20	4.18	0.67	0.39	0.66	0.52	0.79	0.78	0.56	0.19	0.53	0.57	33.93	141.84	5,012.06	
2	PMS- 08 - ZI	2100	23.00	98.00	1.60	1.70	2.58	0.94	0.76	0.87	0.78	1.08	0.74	0.77	0.87	0.77	0.84	50.53	130.58	4,614.07	
3	PM S-06-ZI	2060	22.90	83.30	1.60	1.70	2.58	0.71	0.69	0.77	0.65	0.84	0.86	0.58	0.63	0.70	0.71	42.87	110.77	3,914.04	
4	PM S-04-ZI	2020	23.30	89.20	2.00	2.20	4.18	0.97	1.05	1.10	0.74	1.35	1.25	1.04	1.15	0.83	1.05	63.20	264.18	9,334.84	
5	PM S-03-ZI	2020	24.20	65.90	1.80	2.00	3.42	0.30	0.34	0.28	0.33	0.34	0.32	0.35	0.34	0.30	0.32	19.33	66.12	2,336.40	
6	PM S-02-ZI	1940	25.50	52.60	1.70	1.80	2.91	0.17	0.18	0.14	0.11	0.13	0.13	0.15	0.15	0.16	0.15	8.80	25.58	903.94	
7	PM S-01-ZI	1915	24.10	53.10	1.80	1.80	3.08	0.11	0.14	0.14	0.18	0.20	0.14	0.12	0.15	0.10	0.14	8.53	26.27	928.11	
8	PM S-15-ZII	2130	23.40	78.40	1.26	1.86	2.23	2.17	1.96	1.51	2.04	1.89	1.69	1.89	1.97	1.54	1.85	111.07	247.28	8,737.85	
9	PM S-11-ZII	2070	24.60	81.50	1.93	2.35	4.31	0.87	0.54	0.59	0.90	0.89	0.71	0.95	1.00	0.90	0.82	49.00	211.13	7,460.34	
10	PM S-10-ZII	2100	24.10	87.30	1.27	1.89	2.28	0.83	1.09	1.11	0.90	1.23	1.19	1.01	1.26	0.90	1.06	63.47	144.72	5,113.85	
11	PM S-09-ZII	2130	22.30	94.40	1.50	1.80	2.57	1.39	1.51	1.75	1.52	1.43	1.94	1.54	1.72	1.71	1.61	96.73	248.12	8,767.53	
12	PM S-08-ZII	2070	22.30	80.80	1.33	1.95	2.46	1.57	1.47	1.38	1.67	1.74	1.41	1.79	1.49	1.31	1.54	92.20	227.16	8,027.02	
13	PM S-07-ZII	2040	24.40	64.00	1.31	1.94	2.41	0.98	0.93	0.87	1.07	1.03	0.87	0.82	0.83	0.88	0.92	55.20	133.27	4,709.22	
14	PM S-06-ZII	2000	22.60	64.80	1.42	1.77	2.39	0.50	0.57	0.71	0.98	0.82	0.86	0.00	0.53	0.49	0.61	36.40	86.91	3,071.14	
15	PM S-05-ZII	1960	23.40	59.40	1.19	1.67	1.89	0.56	0.44	0.68	1.01	1.23	1.18	1.09	0.88	0.93	0.89	53.33	100.69	3,557.95	
16	PM S-04-ZII	1920	22.70	59.20	1.54	2.04	2.98	0.70	0.83	0.87	0.91	1.09	0.92	0.84	0.97	0.89	0.89	53.47	159.57	5,638.60	
17	PM S-03-ZII	1890	21.70	62.70	1.58	1.77	2.66	1.35	1.60	1.42	1.71	1.73	1.56	1.09	1.74	1.70	1.54	92.67	246.19	8,699.44	
18	PM S-02-ZII	1850	21.40	65.30	1.26	2.01	2.41	1.40	1.45	1.53	1.77	1.61	1.53	1.75	1.62	1.29	1.55	93.00	223.76	7,906.54	
19	PMS - 09 - ZI	1980	21.30	68.50	1.93	2.13	3.91	0.26	0.23	0.24	0.25	0.33	0.26	0.26	0.26	0.21	0.26	15.33	59.88	2114.74	
20	PM S-01-ZII	1820	22.40	63.40	1.19	1.90	2.15	0.06	0.08	0.19	0.09	0.12	0.25	0.19	0.30	0.26	0.17	10.27	22.05	779.23	
TOTAL DE SALIDA DE AIRE U.E.A CAPITANA																		2876.07	101,626.91		

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 6 se muestra las mediciones de las 13 estaciones principales de ingreso de aire de mina en ambas zonas I y II asimismo se puede observar en total el ingreso de aire fresco es 118,351.16 CFM.

En la tabla 7 se muestra las mediciones de las 20 estaciones principales de salida de aire viciado de mina en conjunto de ambas zonas, asimismo se muestra el total de salida de aire viciado es 101,626.91 CFM.

Tabla 8

Balance de ingresos y salidas de aire de mina

Balance de ingresos y salidas de aire de mina	
Total de ingreso de aire fresco	118,351.16 CFM
Total de salida de aire viciado	101,626.91 CFM
Balance o diferencia de ingreso y salida	16.46%

Fuente: Elaboración propia

La diferencia de ingresos y salidas es 16.46%

En la tabla 8 se puede observar que la diferencia de ingresos y salidas de aire viciado es mayor al 10%, lo cual indica que estamos fuera de lo que indica la legislación minera. Esto podría deberse a un mal circuito de salida de aire viciado o problemas de recirculación en las labores en interior mina.

Ahora procederemos a calcular el requerimiento total de aire de mina para calcular la cobertura de aire de mina.

3.5 Cálculo de requerimiento de aire

En la U.E.A Capitana se tienen varios proyectos de exploración de mineral en ambas Zonas I y II específicamente en las Vetas Josefina, Esperanza III y Escondida por lo cual es prioritaria la necesidad de establecer un sistema de extracción de gases hacia superficie mediante una serie de chimeneas troncales. Se está estimando la construcción de 2 chimeneas una de forma convencional como parte del circuito local de ventilación del proyecto minero del Nv 1980 y la otra chimenea RB o RC como parte de la troncal del sistema de ventilación, en la cabeza de esta última chimenea se plantea colocar un ventilador de 50 KCFM que garantice la extracción del aire viciado de sistema local.

Para ello el primer paso es dimensionar el requerimiento de aire en toda la mina; este cálculo se contemplará con la cantidad de personal, consumo de madera por guardia, requerimiento por temperatura, requerimiento por equipos Diesel.

A continuación, se detallará la metodología para el cálculo de requerimiento de aire:

3.5.1 Caudal requerido por el número de trabajadores

Para el cálculo de requerimiento de aire por el número de trabajadores o el número de personas haremos uso del Anexo 38 del DS 024 y su modificatoria 023- 2017 EM, en la cual se establece que en los lugares de trabajo en donde la altitud esta entre 0 msnm y 1500 msnm la cantidad de aire necesario por persona es 3m³/min, conforme va subiendo la altitud este factor se va incrementando, como se observa a continuación:

- 1,500 a 3,000 msnm aumentará en 40% que es igual a 4 m³/min.
- 3,000 a 4,000 msnm aumentará en 70% que es igual a 5 m³/min.
- Sobre los 4,000 msnm aumentará en 100% que es igual a 6 m³/min.

La altitud promedio en la U.E.A Capitana es 1700 msnm por lo cual el requerimiento de aire es 4 m³/min por persona

Tabla 9

Caudal requerido por el número de trabajadores

PERSONAL	Total / gdia	m³/min	Q(CFM)
COMPAÑÍA	19	76	2683.9
LACES GOLD MINING	34	136	4802.7
VRD	24	96	3390.1
SERMIQOZ	51	204	7204.1
CABAMI	22	88	3107.6
HIMAPE	15	60	2118.8
CyH SAC	23	92	3248.9
DEEP MINING	18	72	2542.6
SMVA	18	72	2542.6
MANTENIMIENTO	6	24	847.5
TOTAL	230	920	32,488.9
QTr		32,488.88	CFM

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 9 se muestra y describe la cantidad total de aire por trabajador esto se subdivide por el personal de contratas con la guardia más numerosa.

$$Q_{tr} = 32,488.88 \text{ CFM}$$

3.5.2 Caudal por el consumo de madera

Para el cálculo de requerimiento de aire por consumo de madera nos apoyaremos de igual forma con el anexo 38 del DS 024 -023 2017 EM, en la cual establece que el requerimiento de aire está dado por la multiplicación del factor de producción y la producción en toneladas métricas por guardia.

Tabla 10

Consumo de madera en U.E.A Capitana

CONSUMO PROMEDIO DE MADERA - U.E.A CAPITANA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD CONSUMIDA	VOL PULG ³	VOL M ³	KG	TON
CORTEZA EUCALIPTO 10' – CANTONERAS	6,236.70	14,401,017.21	230.42	179,724.69	179.72
DURMIENTE 4"x6"x1 M	2,566.78	2,425,296.36	38.80	30,267.70	30.27
DURMIENTE 4"x6"x1.20 M	1.50	1,697.39	0.03	21.18	0.02
DURMIENTE DE 4" X 6" X 1.50 M	10.48	14,852.16	0.24	185.35	0.19
REDONDO DE 6" X 10'	7,352.20	24,945,497.43	399.13	311,319.81	311.32
REDONDO DE 7" X 10'	4,792.19	22,131,075.44	354.10	276,195.82	276.20
REDONDO DE 8" X 10'	3,217.01	19,404,576.37	310.47	242,169.11	242.17
REDONDOS 4" A 5" Ø X 10'	6,653.36	15,676,652.98	250.83	195,644.63	195.64
TABLAS EUCALIPTO 2"x 8"x10'	3,328.26	6,390,255.65	102.24	79,750.39	79.75
TABLAS EUCALIPTO 2"x 8"x7'	5,655.71	7,601,275.91	121.62	94,863.92	94.86
			1,807.88	1,410,142.62	1,410.14
PRODUCCIÓN MENSUAL (TON)	21,445	CONSUMO DE MADERA MENSUAL (TON)			1,410.14
PRODUCCIÓN POR GUARDIA (TON)	357.41	CONSUMO POR GUARDIA (TON)			23.50
CONSUMO DE MADERA EN %					6.58

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 10 se muestra el consumo de madera mensual detallándose los elementos de los cuadros de madera así como los durmientes para las rieles , asimismo se muestra el porcentaje en consumo de madera como una relación entre la producción en toneladas por guardia y el consumo de madera por guardia .

En la tabla 11 se observa el factor de producción que corresponde por el consumo de madera para el cálculo de aire por uso o consumo de madera principalmente en mina convencionales :

Tabla 11

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: Elaboración propia.

En la tabla 12 se observa el resumen del cálculo de requerimiento de aire por consumo de madera, se observa la producción por guardia ,el consumo de madera por guardia , y la relación entre estos la cual se encuentra dentro del 20% obteniendo un factor de producción de 0.0 m³/min.

$$Q_{ma} = 21445 \text{ TMH/ mes} * 0.00 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$Q_{ma} = 0.00 \text{ CFM}$$

Tabla 12

Producción en toneladas en U.E.A Capitana

	CANTIDAD	UND
Producción	357.41	TMH/GDA
Consumo	23.5	T/GDA
Porcentaje	6.58%	Factor de producción igual a 0

Fuente: Elaboración propia

3.5.3 Caudal requerido por temperatura:

Para el cálculo de requerimiento de aire por temperatura haremos uso del Anexo 38 del DS 024 y su modificatoria 023- 2017 EM, en la cual se establece que en las labores donde la temperatura se encuentre entre 24°C y 29°C la velocidad mínima del aire será 30m/min.

Además, para el cálculo también se tiene en cuenta el área de la labor, y el número de niveles donde se tiene temperatura entre los rangos ya mencionados.

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

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.

Tabla 13

Velocidad mínima por temperatura

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

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 13 se muestra la relación de la velocidad mínima de aire en cada labor respecto a la temperatura dada esto acorde al reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional DS 024 -2016 EM y su Modificatoria DS 034 – 2023 EM.

Tabla 14

Niveles por temperatura en U.E.A Capitana

TEMPERATURA PROMEDIO U.E.A CAPITANA POR NIVELES MAYOR A 23°C			
VETA	NIVEL	AREA(m ²)	T (C°)
Chanchin	2020	4.21	24
Chanchin	1980	4.79	25
T. Esperanza II	1940	4.79	26
Chanchin	1860	4.79	25
Sig. Tensional Esperanza II	1820	2.05	24
Nancy III	1820	4.79	29
Nancy III	1760	2.05	28
T. Esperanza II	1700	6.15	26
Nancy III	1580	2.05	28
Josefina- T. Esperanza II	1520	2.05	28
Esperanza	1440	2.05	26
PROMEDIO	11	3.61	26

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 14 se detallan los niveles con temperatura mayor a 23°C en el frente de trabajo para calcular el requerimiento de aire por temperatura de acuerdo a estos niveles .

Tabla 15

Área promedio de las labores

TEMPERATURA PROMEDIO °C	25.62	°C
# NIVELES	11	>23°C
VELOCIDAD MIN (Vm)	30	m/min
AREA(Prom)	3.61	m ²

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 15 se muestra el detalle del cálculo de requerimiento de aire por temperatura con 11 niveles y el área promedio de las labores.

Tabla 16

Caudal de aire por temperatura

DESCRIPCION	VALOR	UND	NV. CON TEMPERATURA ALTAS
TEMPERATURA°C	26	°C	
# NIVELES	11	> 23°C	2020-1980-1940-1915- 1860-1820-1700-1870-
VELOCIDAD MINIMA	30	m/min	1820-1760-1580-1520- 1440
AREA PROMEDIO	3.61	m ²	
Qte			42,069.57

Fuente: Elaboración propia.

$$Q_{te} = 42,069.57 \text{ cfm}$$

En la tabla 16 se muestra el total de aire que se requiere por temperatura en la U,E,A Capitana y se muestran los niveles con temperatura mayor a 23°C

3.5.4 Caudal requerido por equipos Diesel

Para el cálculo de requerimiento de aire por equipos diésel o equipos petroleros haremos uso del Anexo 38 del DS 024 y su modificatoria 023- 2017 EM, en la cual se establece que por cada HP efectivo del equipo diésel el requerimiento de aire debe ser 3m³/min. El requerimiento de aire también estará en función de la disponibilidad mecánica y utilización del equipo petrolero, de esto teniendo en cuenta la evaluación previa hecha por parte del titular de la actividad minera que comprenda la altitud, calor de los motores y las emisiones de los gases del lugar de trabajo. A continuación, se presenta la fórmula:

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

Donde:

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

HP = Capacidad efectiva de potencia (HP);

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

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

En la tabla 17 describe los factores a usarse para realizar el cálculo de requerimiento por equipos diésel

Tabla 17

Factores de cálculo en caudal por equipos

Potencia Nominal	Pot.Nom. (HP)
Potencia Efectiva	Pot.Efec. (HP)
Factor de Utilización	F.U.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18

Caudal de aire por equipos petroleros

Equipo	Código Placa	Modelo	Potencia Nom.(HP)	FA	Pot. Efectiva (HP)	DM	FU	Req Minimo (m ³ /min)	Q Req (m ³ /min)	Q Req (cfm)
SCOOPTRAM	SD-08	XLH05D	96.00	78%	74.88	90%	36%	3	72.78	2570.0
SCOOPTRAM	SD-12	ODUS-0.6	62.00	78%	48.36	90%	40%	3	52.23	1844.2
SCOOPTRAM	SD-07	LH203	150.00	78%	117	90%	36%	3	113.72	4015.6
SCOOPTRAM	SD-06	LH203	150.00	78%	117	90%	40%	3	0	0
JUMBO	JM-03	MUKI FF	74.00	78%	57.72	90%	30%	3	46.75	1650.9
VOLQUETE	VOL-08	FD800	154.00	78%	120.12	90%	60%	3	194.59	6871.1
SCOOPTRAM	SD-09	ODUS.06	92.00	78%	71.76	90%	36%	3	69.75	2462.9
Qeq		549.76	19,414.7							

Fuente: Elaboración propia.

$$Q_{eq} = 19,141.7 \text{ cfm}$$

En la tabla 18 se muestra el requerimiento total de aire por equipos petroleros y los equipos que actualmente se encuentra operando dentro de la U.E.A Capitana en los diferentes niveles obteniendo un total de 19,141.7 CFM

3.5.5 Caudal requerido por fugas

Para este propósito se ha tomado como base lo dispuesto en el Anexo N° 38 del DS-023-2017-EM, el cual indica que para calcular el caudal requerido por posibles fugas se emplea la siguiente fórmula:

$$Q_{fu} = 15\% \times Q_{t1} \text{ (m}^3\text{/min)}$$

Donde:

Q_{t1} = Sumatoria de los caudales calculados anteriormente (trabajadores, temperatura, equipos diésel, madera)

Tabla 19

Caudal de aire por fugas

Q_{tr}	32,488.88
Q_{ma}	0.00
Q_{te}	42,069.57
Q_{eq}	19,414.7
Sub Total	93973.15
$Q_{fu}(15\% Q_t)$	14,095.97

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 19 se muestra el cálculo del requerimiento de aire por fugas como un porcentaje del sub total de aire (15%) de la sumatoria de los otros requerimientos de aire, obteniéndose un total de 14,095.97 CFM.

$$Q_{fu} = 14,095.97 \text{ cfm}$$


3.5.6 Requerimiento global de aire

$$Q_t = Q_{tr} + Q_{ma} + Q_{te} + Q_{eq} + Q_{fu}$$

$$Q_t = 324,88.88 + 42,069.57 + 0.00 + 19,414.7 + 14,095.97 = 108,069.12 \text{ cfm}$$

De acuerdo al cálculo nuestro caudal requerido es de 108,069.12 cfm

Tabla 20*Caudal de aire requerido por la mina*

U.E.A. CAPITANA			
REQUERIMIENTO DE AIRE	Caudal m³/min	Caudal cfm	
1.- Requerimiento de aire por trabajador	920	32,488.88	
2.- Requerimiento de aire por consumo de madera	0	0	
3.- Requerimiento de aire por temperatura	1486	42,069.57	
4.- Requerimiento de aire por Equipos Petroleros	550	19,414.70	
5.- Requerimiento de aire por fugas	399	14,095.97	
6.- Caudal Total para la Operación (1)+(2)+(3)+(4)+(5)	3355	108,069.12	
7.- Caudal requerido para el consumo de explosivos	0	0	
Caudal total requerido (6) > (7)	3060.14	108,069.12	
CAUDAL DE INGRESO	3351.30	118,351.16	
COBERTURA	109.5%		
MARGEN DE ERROR ENTRADA/SALIDA	16.46%		

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 20 se observa el resumen del cálculo de requerimiento global de aire de mina se observa que la cobertura se encuentra por encima del 100% siendo esta 109.5%, esto significa que la cantidad de la mina esta coberturada, asimismo se muestra nuevamente que el balance de aire de mina de ingreso y salida de aire viciado es mayor a 10% lo cual se encuentra fuera de lo que indica la legislación minera en el Perú .

3.6 Proyectos de ventilación

En la compañía Minera Caravelí, se presentan los principales niveles de exploración en la U.E.A Capitana de la Compañía Minera Caravelí:

- Nv 1980 Josefina, Chanchin ambas vetas con un equipo scoop 0.6 yd³ y 04 parejas de personal para la exploración
- Nv 1940 Ga 350 E Tensional Esperanza II, se tiene contemplado el avance de la GA 350 E y BP 350 E con pala neumática.
- Nv 1915 GA 515 E –W Tensional Esperanza II, para continuar con la exploración de la Veta Tensional Esperanza II en forma convencional con pala neumática

- Nv 1820 XC 950 S, se tiene contemplado explorar la Veta Escondida, Esperanza III y Tensional Esperanza II con equipo scoop, jumbo y dumper MEPP.
- En el Nv 1820 XC 300S se tiene como proyecto de exploración el XC 300 S con equipo scoop y una pareja de personal.
- Nv 1700 se tiene el avance del XC 775 con equipo mecanizado (scoop, dumper MEPP y Jumbo) se tiene 01 pareja para avanzar este Nivel.

3.6.1 Nv 1980 Josefina Chanchin:

Para definir el circuito de ventilación y diseñar correctamente debemos realizar un cálculo de requerimiento de aire teniendo en cuenta la disponibilidad, la utilización de los equipos diésel y a la cantidad de personal en las labores.

En la tabla 21 se muestra el cálculo del total de aire que se requiere por persona en el Nv 1980 XC 560 N

Tabla 21

Cálculo de Requerimiento por persona Nv 1980 XC 560 N

EMPRESA	GDIA A	GDIA B	GDIA C	N° DE PERSONAS MAYOR POR GDIA	CAUDAL POR PERSONA m ³ /min	Q REQ. (m ³ /min)	Q REQ. (CFM)
COMPAÑÍA	2	2	2	2	4	8	282.52
CONTRATISTA	8	8	8	8	4	32	1,130.06
				10	8	40	1,412.58

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 22 se muestra el cálculo del requerimiento de aire por equipos diésel para el Nv 1980 XC 560 N

Tabla 22

Cálculo de requerimiento por equipos diésel Nv 1980 XC 560 N

Equipo	Marca	Modelo	Potencia nominal (HP)	Potencia efectiva (HP)	Disponibilidad mecánica (DM)	Factor de utilización (Fu)	m ³ /min	CFM
ODUS	ONEDRILL	ODUS 0.6	92.00	71.76	80%	70%	120.5568	4,257.40
							120.5568	4,257.40

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 23 se muestra el resumen del cálculo de requerimiento de aire por frente observándose un total de 6520.48 CFM

Tabla 23

Cálculo de requerimiento de aire total Nv 1980 XC 560 N

REQUERIMIENTO TOTAL	m ³ /min	CFM
Requerimiento de aire por personas	40	1,412.58
Requerimiento de aire por equipo	120.5568	4,257.40
Requerimiento de aire por fugas	24.08352	850.50
	184.64	6,520.48

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 24 se muestran las labores que se exploraran con el equipo scoop en el Nv 1980 XC 560 N

Tabla 24

Labores en operación

NIVEL	LABORES
1980	XC 830 N
1980	GA 860 E
1980	XC 560 N

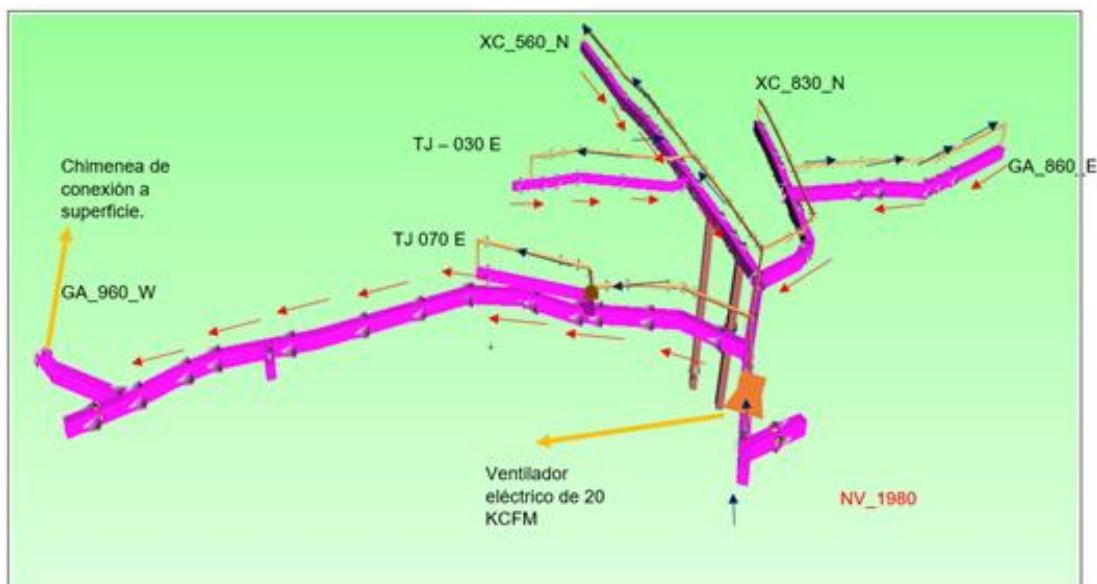
Fuente: Elaboración propia.

Para la simulación de las diferentes etapas a largo, mediano y corto plazo en el de los proyectos de exploración que se van a presentar se usa el software Ventsim Design 5.

Se tiene 03 frentes en el Nv 1980, XC_830_N, GA_860_E, XC_560_N. Para cada uno de los frentes.

Figura 3

Situación actual del circuito de ventilación



Fuente: Elaboración propia adaptado del Software Ventsim

En la figura 3 se describe el circuito de ventilación actual en el Nv 1980 XC 560 N, donde se encuentran avanzando con scoop de 0.6 yd³ en GA 860 E, XC 560 N y XC_830_N, así como los TJ_070_E y TJ_030_E. Se debe asegurar como mínimo un caudal de 6520 CFM en el tope del frente de acuerdo al cálculo. El aire fresco ingresa por bocamina tiene temperaturas entre 23°.

Se describe el circuito de aire fresco y salida de aire viciado: El aire fresco captado por el ventilador proviene desde bocamina NV_1980 por tiro natural, este aire es captado por un ventilador de 20 KCFM y mediante manga de ventilación de 24" hacia los 03 frentes GA_860_E, XC_830_N y XC_560_N y los siguientes tajos TJ_030_E, TJ_070_E. Los gases generados por el equipo scoop y por voladura tiene como ruta de escape por la GA_960_W y finalmente por la CH – 060 que conecta a superficie.

Como se puede observar en la medición de aforos se observa el caudal de salida de aire viciado es tan solo de 2114.74 en comparación de los 20 Kcfm que está siendo inyectado por el ventilador auxiliar.

Por ello es necesario habilitar una chimenea adicional de salida hacia el Nivel superior Nv 2020 y ejecutar a partir de este nivel una chimenea RB o RC hacia el Nv 2130; posteriormente instalar un ventilador de 50 Kcfm.

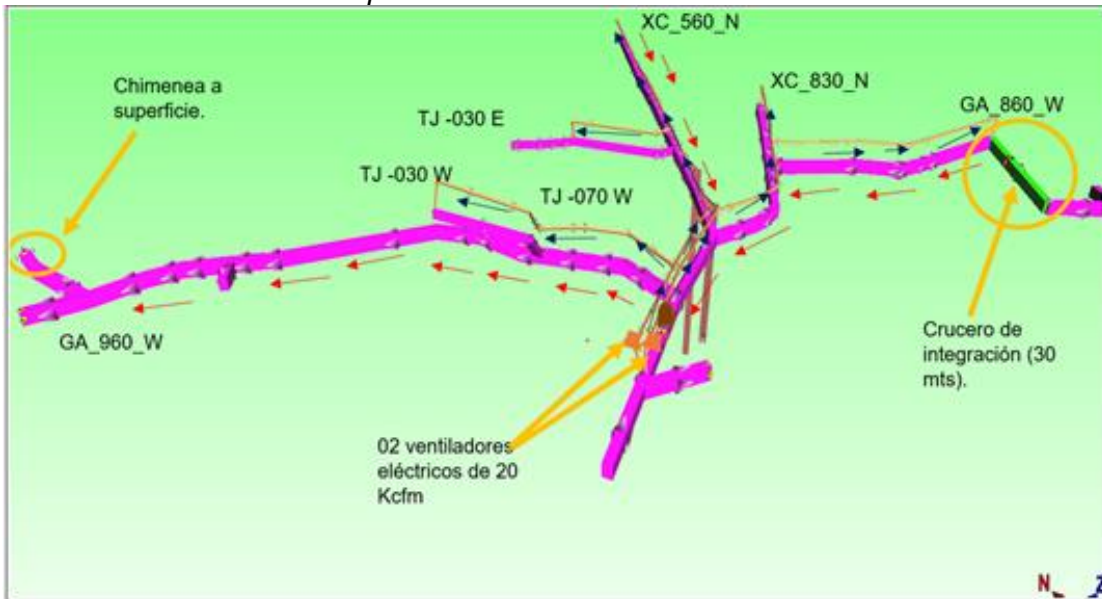
Trabajos a corto plazo

Para garantizar la cobertura de aire se debe instalar un ventilador de 20 KCFM en adicional en este mismo nivel en el XC_560_N en paralelo en un plazo inmediato, adicional a ello para generar circuito de ventilación se debe integrar el XC_930_N mediante un crucero de 30 m la GA_860_E y GA_960_W (labora antigua).

Posterior a ello debido a que la GA 860 E de exploración se encuentra alejándose por el Este, debe instalarse un ventilador de 10 KCFM para ventilar la GA_860_E mediante manga de ventilación de 24", todo esto se muestra en la Figura 4.

Figura 4

Circuito de ventilación a corto plazo

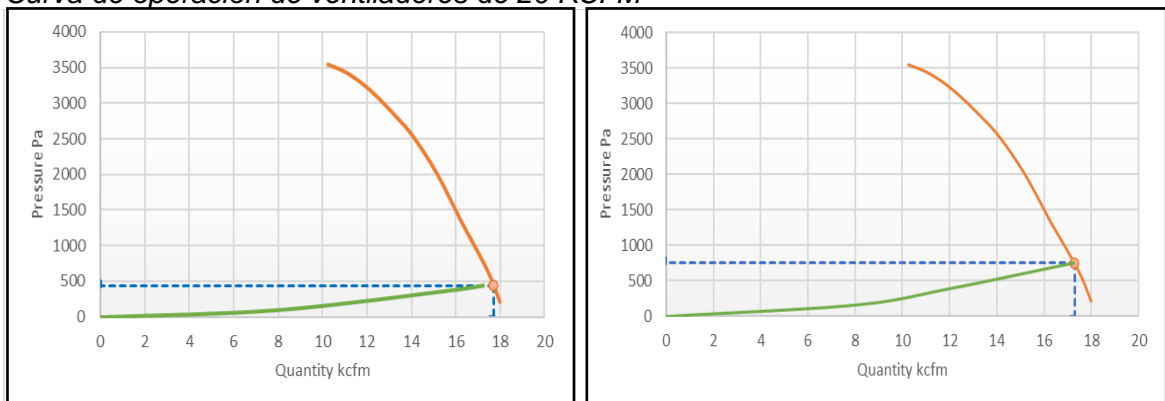


Fuente: Elaboración propia adaptado del Software Ventsim

En la figura 5 se muestra el rendimiento de ventiladores , la eficiencia de ambos todo esto está dentro la curva de operación de los 02 ventiladores de 20 KCFM

Figura 5

Curva de operación de ventiladores de 20 KCFM



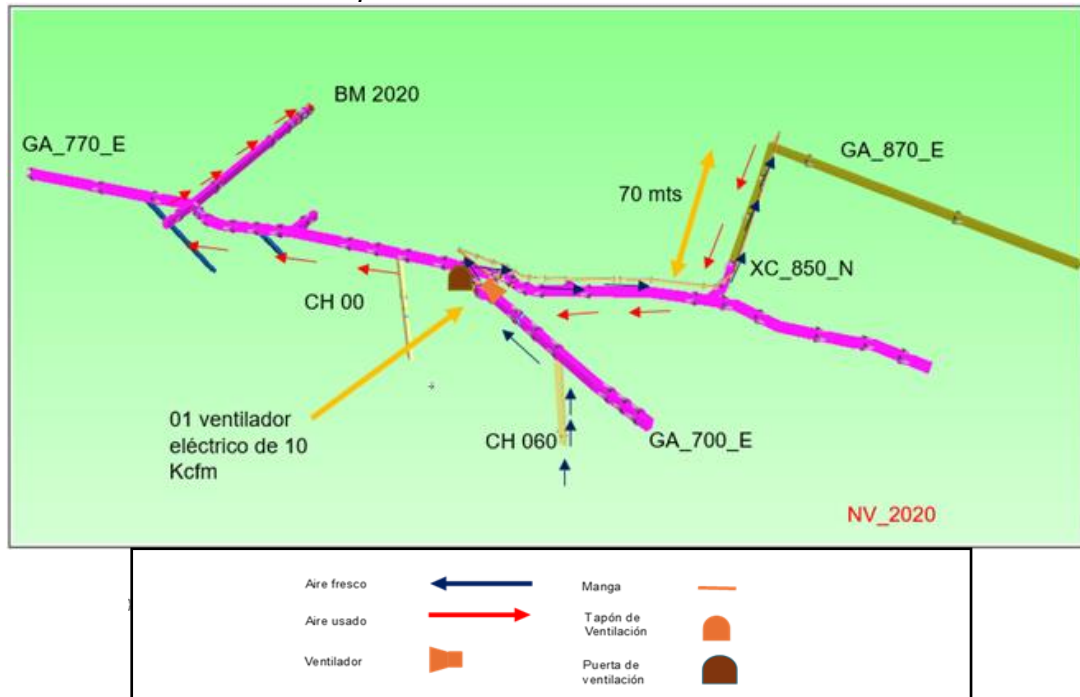
Fuente: Elaboración propia adaptado del Software Ventsim

Finalmente, como comentario se observa que el único punto de salida del polvo generado por proceso de perforación entre otros, gases viciados producidos por el equipo scoop y/o por el proceso de voladura tiene un único punto de salida que es la CH – 060 a superficie. Asimismo, tener en cuenta que mientras más exploramos el lado este de la Veta Chanchin será más difícil ventilar el tope de la GA 860 E por el recorrido el aire viciado

hasta la CH – 060. Por ello se plantea recorrer la Veta Chanchin en el Nv 2020 para dar cabeza a una chimenea de ventilación que se ejecutará del Nv 1980.

Figura 6

Circuito de ventilación a corto plazo Nv 2020 Chanchin



Fuente: Elaboración propia adaptado del Software Ventsim

Como proyecto de ventilación se plantea la ejecución de una chimenea de ventilación del Nv 1980 al Nv 2020 sobre la Veta Chanchin como chimenea de extracción de aire viciado frente de la GA 860 E.

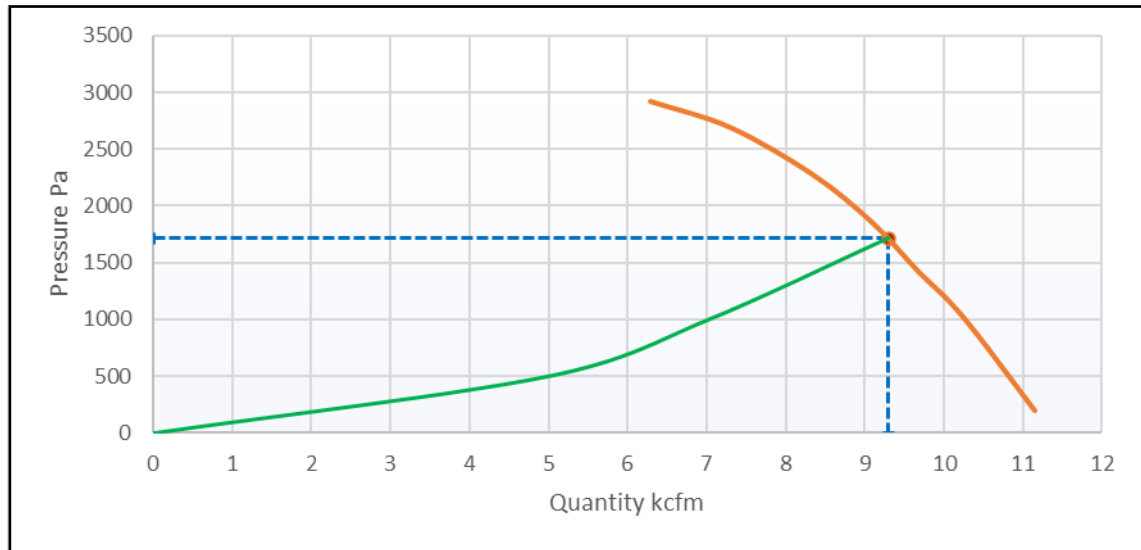
Asimismo la Veta Chanchin tiene continuidad en el Nv 2020 por ello se propone ejecutar el XC 850 N hasta cortar la Veta y ejecutar la GA 870 E de forma convencional con pala neumática

A continuación, se describe el circuito de ventilación del proyecto de exploración en el Nv 2020, se instalará un ventilador de 10 KCFM en la GA 700 E del Nv 2020, el aire fresco será captado por la CH 060 E aire que proviene de la BM Nv 1980. Todo esto se muestra en la figura 6.

Debido a la sección y a la capacidad del ventilador se instalará el ventilador con manga de ventilación de 24". El circuito de salida del aire viciado es a través GA_700_E en retirada hacia la Bocamina del NV_2020 que es considerado como punto de salida.

Figura 7

Curva de ventilador de 10 KCFM NV 2020



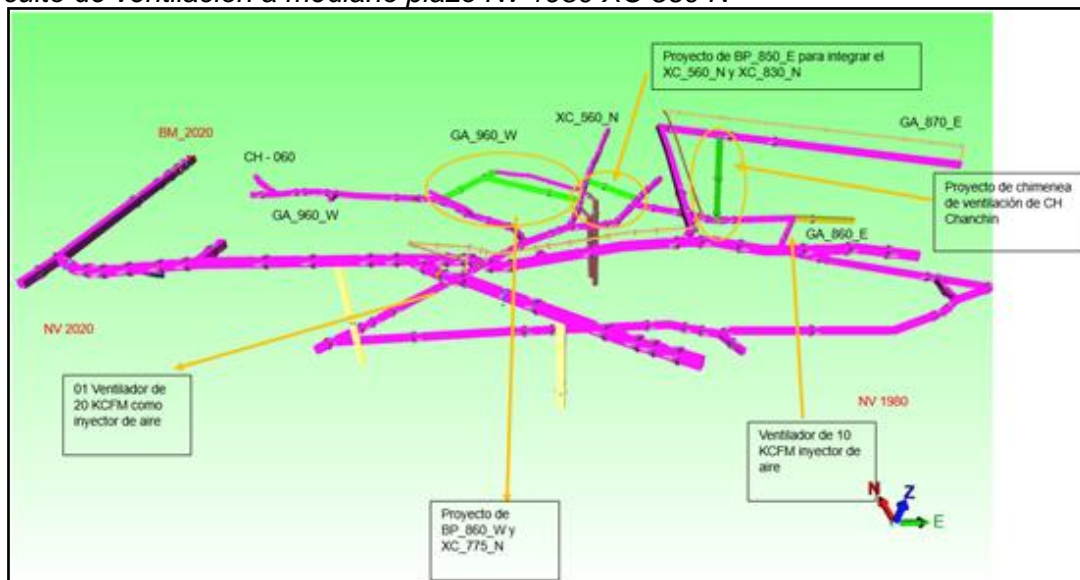
Fuente: Elaboración propia

En la figura 7 se muestra la curva de operación del ventilador de 10 KCFM a instalarse en el Nv 2020, esto con los controles necesarios y el hermetizado correcto.

Trabajos a mediano plazo

Figura 8

Circuito de ventilación a mediano plazo Nv 1980 XC 560 N



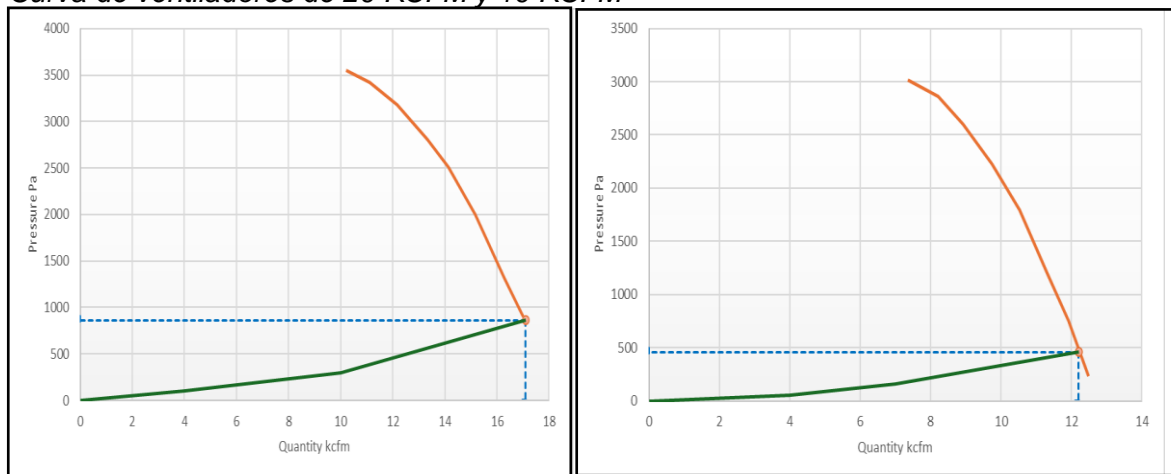
Fuente: Elaboración propia adaptado del Software Ventsim

En los trabajos a mediano plazo, se debe ejecutar una chimenea de ventilación de 40 metros sobre la GA 860 E de la Veta Chanchin hasta el Nivel 2020, con la ejecución de esta chimenea de ventilación se espera reducir las concentraciones de monóxido de

carbón producido por el equipo scoop y la concentración de agentes químicos producto de la voladura. De igual forma en el ala oeste (GA 960 W) con el fin de generar circuito de ventilación y en un mediano plazo reubicar el ventilador de capacidad 20 Kcfm en la GA_960_W se debe ejecutar el BP_860_W e integrar el mismo con la GA_960_W con el XC_775_N. Asimismo se debe ejecutar el BP_850_E para integrar el XC_930_N y XC_560_N para integrar estas labores y generar circuito de ventilación.

Figura 9

Curva de ventiladores de 20 KCFM y 10 KCFM

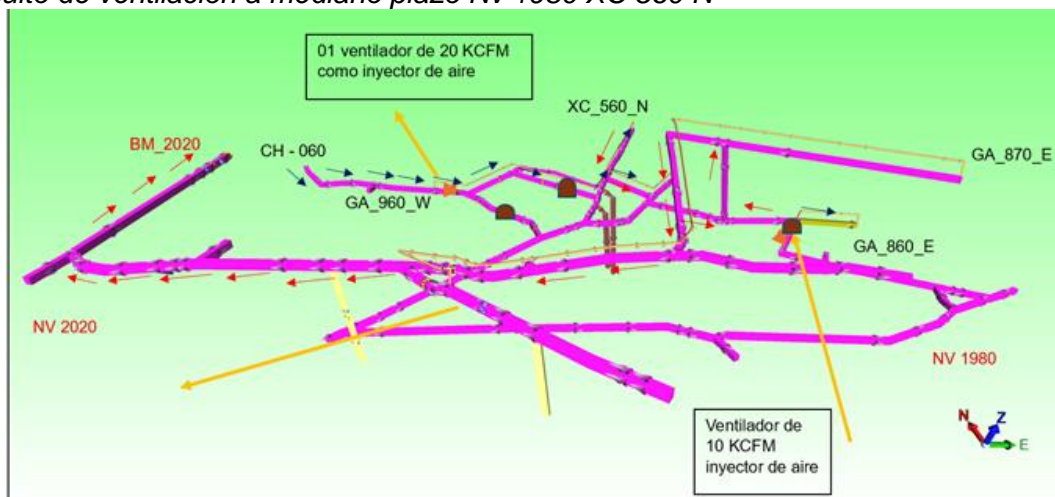


Fuente: Elaboración propia adaptado del Software Ventsim

En la figura 9 se muestra la curva de operación de los ventiladores de 20 KCFM y 10 KCFM en el Nv 1980 XC 560 N como su eficiencia y el caudal alcanzado operativamente.

Figura 10

Circuito de ventilación a mediano plazo Nv 1980 XC 560 N



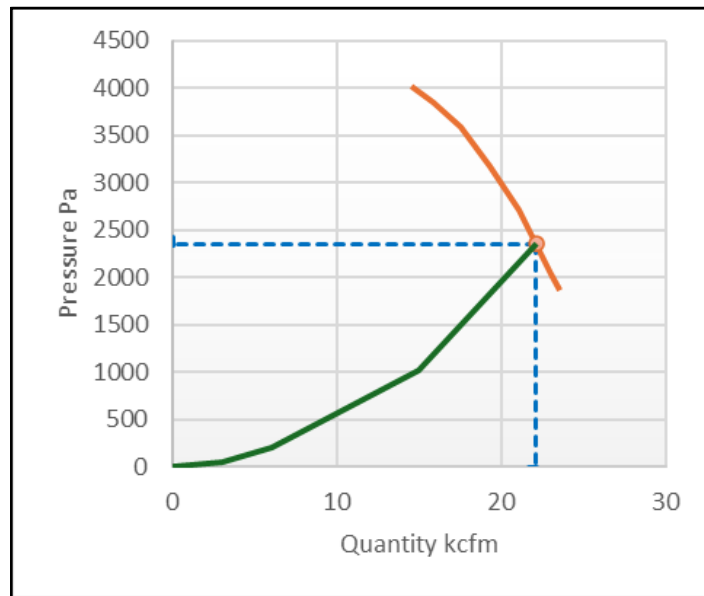
Fuente: Elaboración propia adaptado del Software Ventsim

En la figura 10 se observa la reubicación del ventilador de 20 KCFM en la GA 960 W, asimismo con la instalación del ventilador de 10 KCFM y el ventilador en operación en el Nv 2020.

Figura 11

Curva de operación de ventilador de 20 KCFM

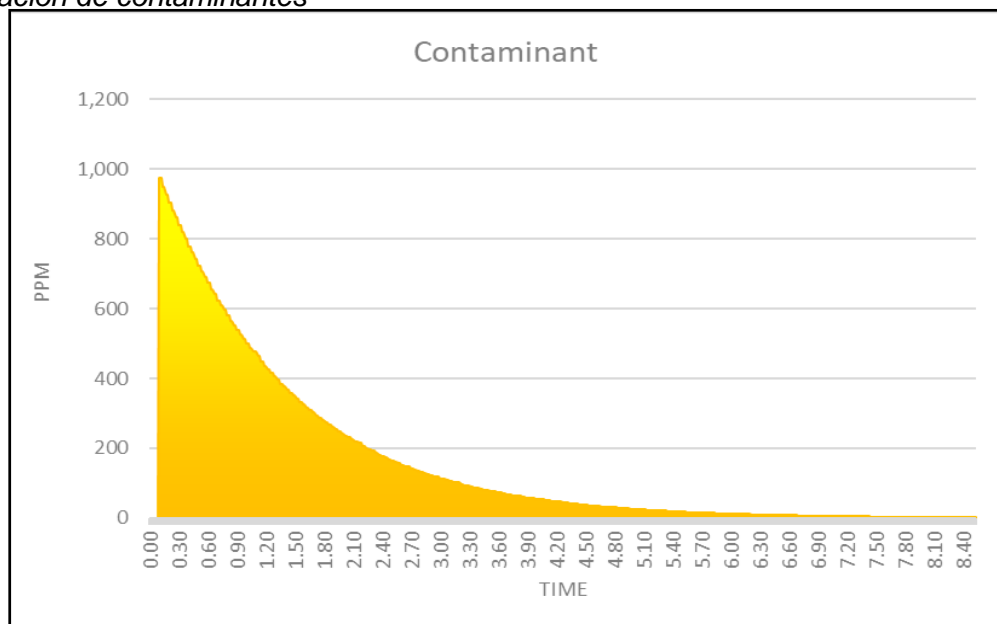
Efficiency	71.6 % 3450 RPM	Power	46.1 hp shaft
Air density	0.92 kg/m ³	Power	48.5 hp electrical,
Duty FTP	2,356.5 Pa	Cost	\$ 133,115 /year
Quantity	22.1 kcfm 36.6 m/s	System R	21.63501 Ns ² /m ⁸
		Peak Capacity 25% R	58% P



Fuente: Elaboración propia

Figura 12

Simulación de contaminantes



Fuente: Elaboración propia

En la figura 12 se muestra la dilución de contaminantes después de reubicar el ventilador de 20 Kcfm en el Nv 1980 GA_960_W y hermetizarlo debidamente y direccionar las mangas de ventilación de 24” hacia los frentes XC_560_N, XC_930_N, TJ_030_E. De acuerdo a este sistema de ventilación se observa que el tiempo de ventilación en la GA_860_E es de 10 minutos por la cercanía de la CH de ventilación al frente de la GA_860_E.

3.6.2 NV 1940 GA_350_E

En el Nv 1940 se está explorando la Veta Tensional Esperanza II con pala neumática y carros mineros para ello se tiene 02 parejas de avance en la GA_350_E y BP_350_E.

Para ello primero debemos dimensionar el requerimiento de aire en ambos frentes por voladura:

En la tabla 25 se muestra el cálculo de requerimiento de aire por voladura en el Nv 1940 GA 350 E

Tabla 25

Requerimiento por voladura Nv 1940 GA 350 E

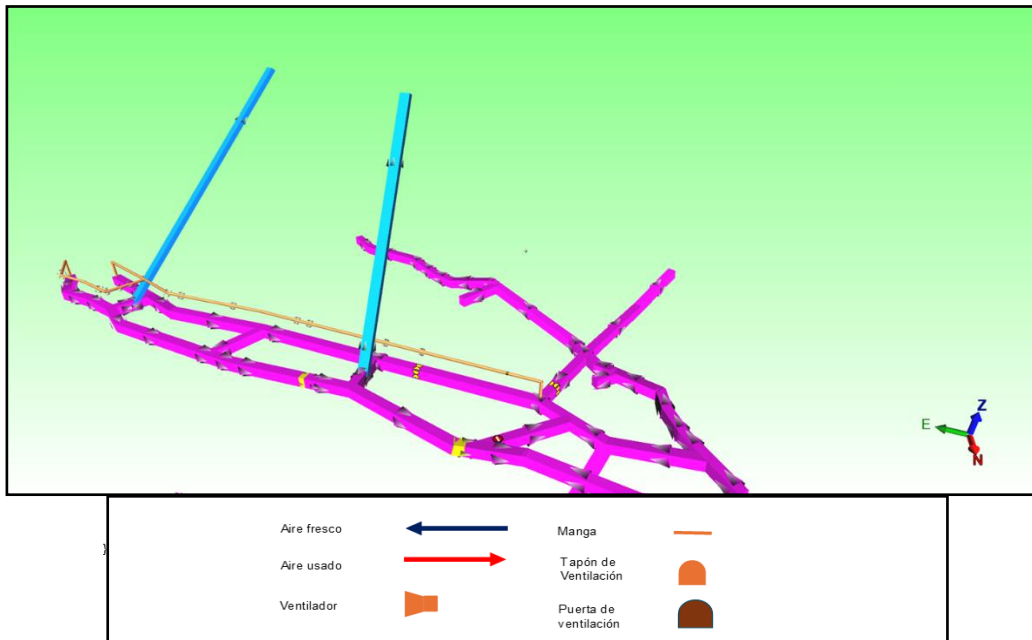
Nivel	Veta	Labor	Ancho (m)	Alto (m)	Área (m ²)	Velocidad (m/min)	m ³ /min	Cfm
1940	T. Esperanza II	GA_350_E	2.1	2.4	4.788	30	143.64	5,072.65
1940	T. Esperanza II	GA_350_E	2.1	2.4	4.788	30	143.64	5,072.65
							10,145.29	

Fuente: Elaboración propi

Actualmente se cuenta con un ventilador de 20 KCFM instalado en la GA_350_E. El circuito ingreso de aire fresco es captado por un ventilador de 20 KCFM que ingresa por BM_1940 y es direccionado mediante manga de ventilación de 24” hacia los 02 frentes. El aire viciado de los frentes es evacuado por tiro natural por la CH_1260 y CH_1200 hacia los niveles superiores.

Figura 13

Situación actual del sistema de ventilación



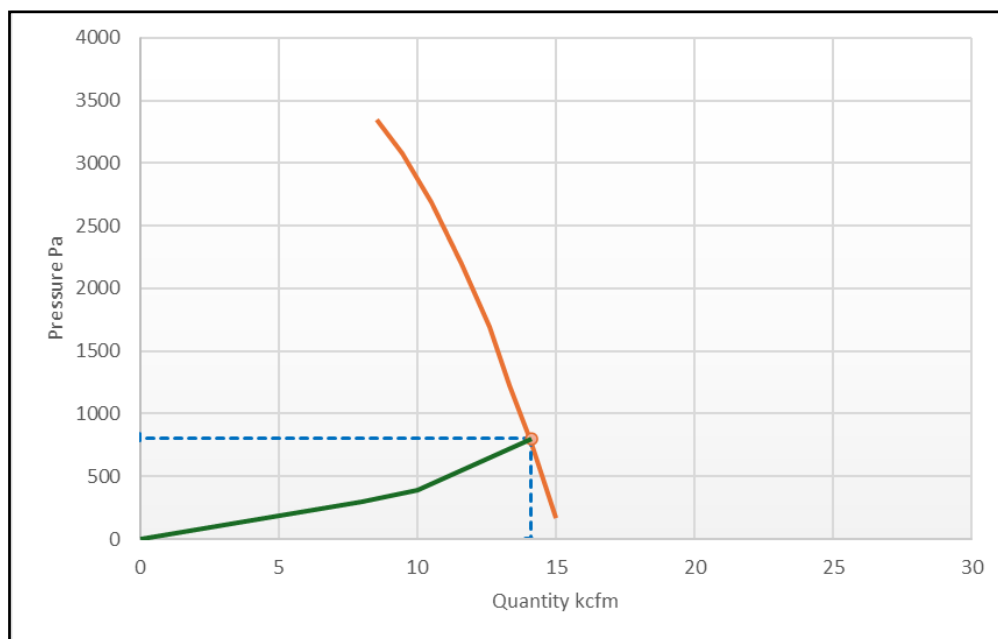
Fuente: Elaboración propia adaptado del Software Ventsim

En la figura 14 se observa la curva de operación del ventilador de 20 KCFM para ambos frentes GA 350 E y BP 350 E.

Figura 14

Curva de operación de ventilador de 20 KCFM NV 1940 GA 350 E

Efficiency	34.9 %	3450 RPM	Power	20.5 hp shaft
Air density	0.93 kg/m ³		Power	21.6 hp electrical,
Duty FTP	801.9 Pa		Cost	\$ 59,153 /year
Quantity	14.1 kcfm, 23.3 m/s		System R	18.18086 Ns ² /m ⁸
			Peak Capacity 9% R	24% P



Fuente: Elaboración propia

Actualmente la distancia del ventilador a ambos frentes es de 100 m se observa que el caudal en la GA_350_E y BP_350_E. El caudal en ambos frentes es 5200 y 7000 CFM esto se muestra en la tabla 26

Tabla 26

Simulación de GA 350 E y BP 350 E.

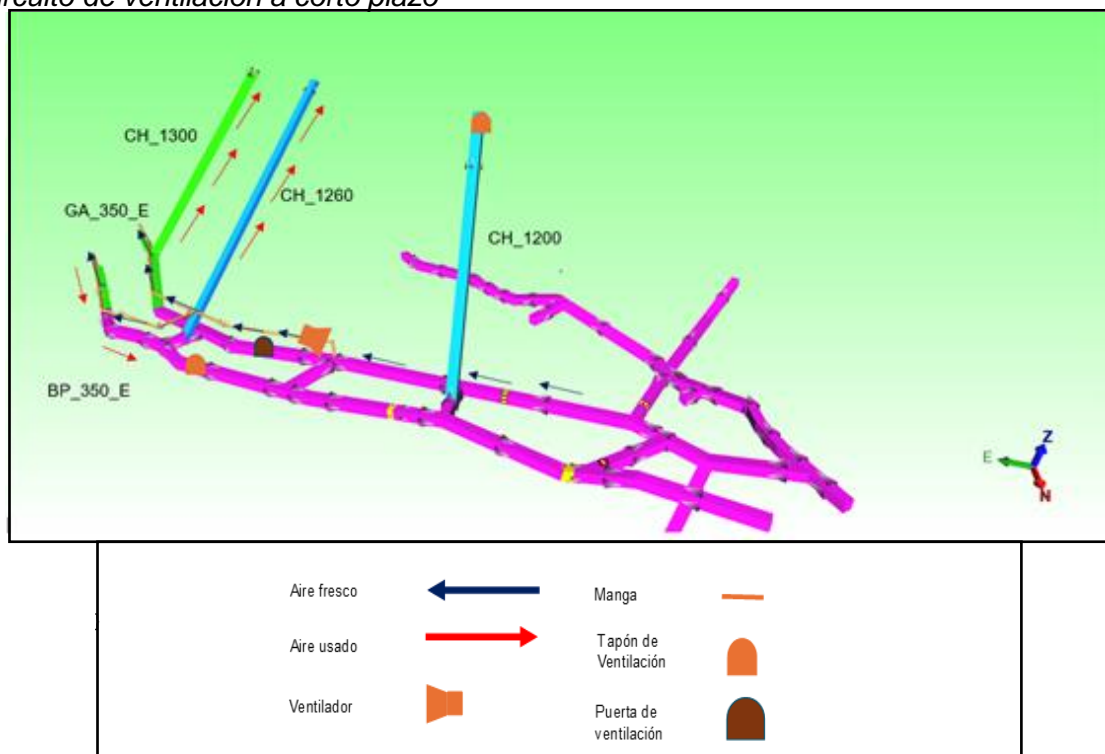
SIMULACION		SIMULACION	
Q(kcfm)	5.2	Q(kcfm)	7.0
V(m/s)	0.5	V(m/s)	0.7
P Loss(Pa)	-0.1	P Loss(Pa)	0.1
R(Ns ² /m ⁸)	0.00696	R(Ns ² /m ⁸)	0.01103

Fuente: Elaboración propia

Trabajos a corto plazo

Figura 15

Circuito de ventilación a corto plazo



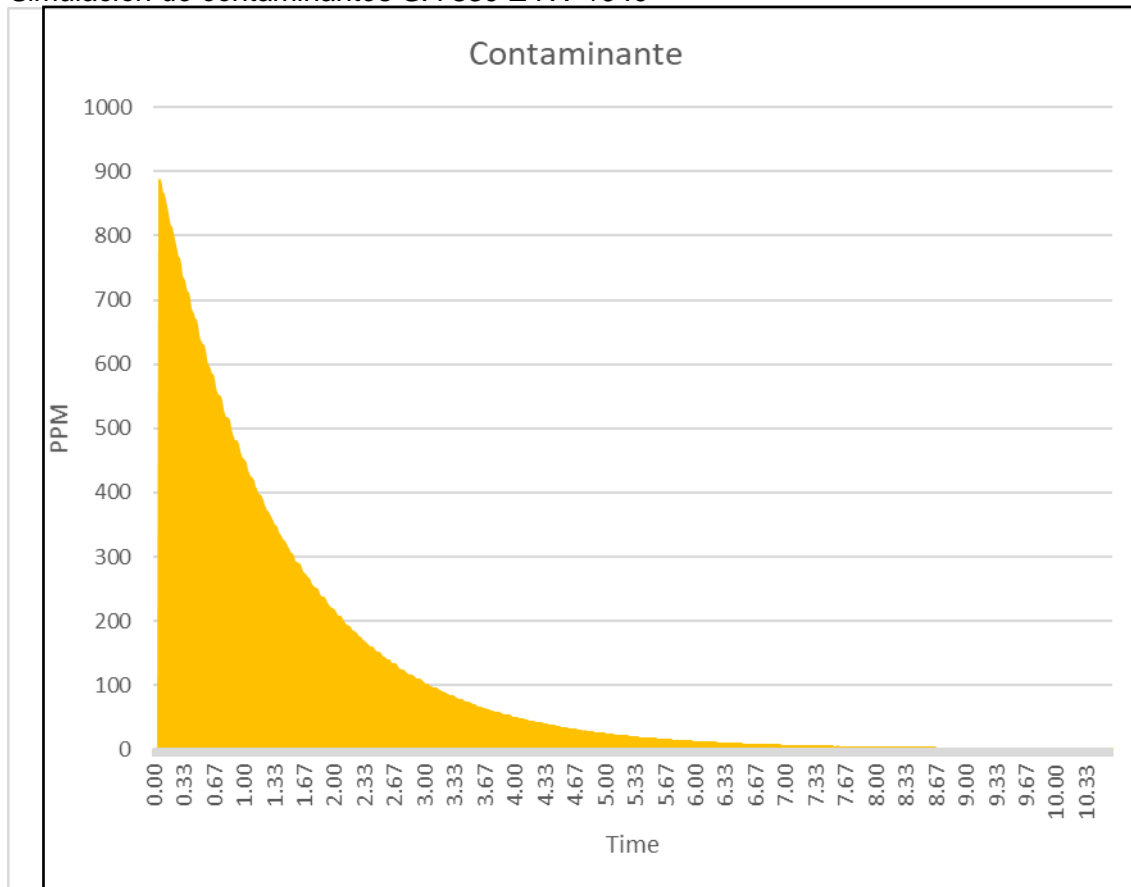
Fuente: Elaboración propia adaptado del Software Ventsim

Los trabajos a corto plazo consisten en avanzar 90 metros la GA_350_E, BP_350_E

Para ejecutar una chimenea de ventilación y adelantar el ventilador de esta forma se asegura el avance de ambos frentes esto se muestra en la figura 16.

Figura 16

Simulación de contaminantes GA 350 E NV 1940



Fuente: Elaboración propia

En la figura 17 se muestra la dilución de los contaminantes se observa que los contaminantes de la GA 350 E se diluyen en un tiempo aproximado de 10 minutos para que los contaminantes bajen sus concentraciones.

3.6.3 NV 1915 GA 515 E-W

En el NV 1915 GA 515 E-W se viene atacando ambos frentes con un ventilador de 10 KCFM y con manga de ventilación de 24". Se calcula el requerimiento por voladura esta se muestra en la tabla 27

Tabla 27

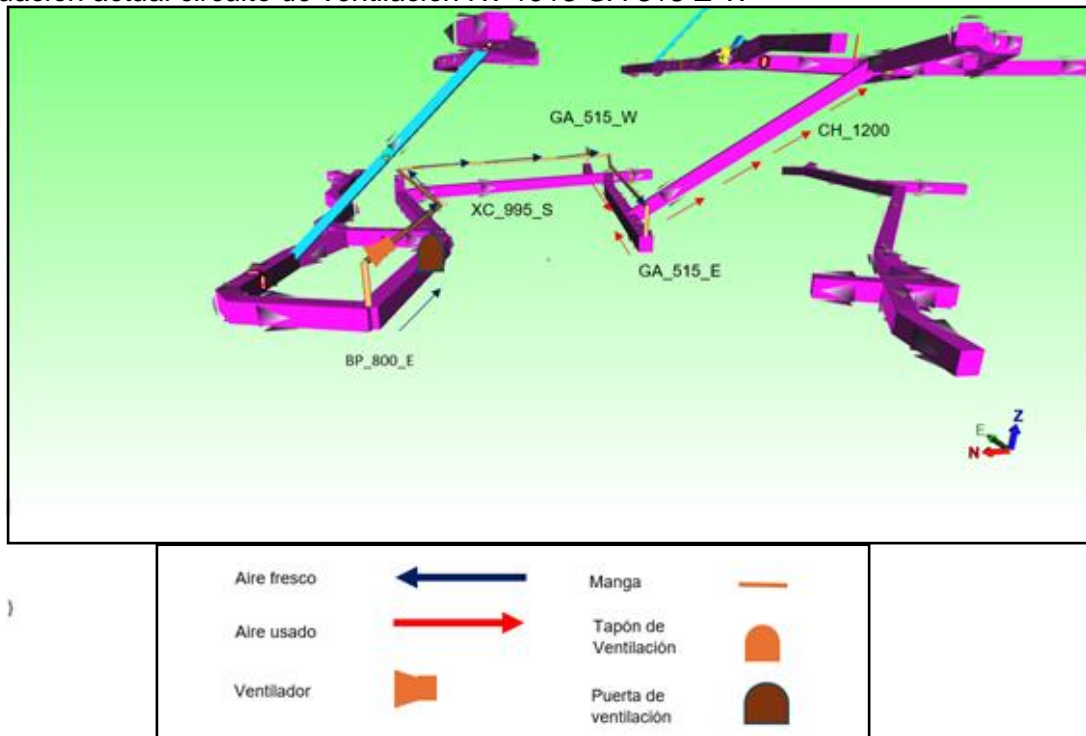
Requerimiento de aire por voladura Nv 1915 GA 515 E-W

NIVEL	VETA	LABOR	ANCHO (m)	ALTO (m)	AREA (m ²)	VELOCIDAD (m/min)	m ³ /min	CFM
1915	T. Esperanza II	GA_515_E	2.1	2.4	4.788	20	95.76	3,381.76
1915	T. Esperanza II	GA_515_E	2.1	2.4	4.788	20	95.76	3,381.76
								6,763.53

Fuente: Elaboración propia

Figura 17

Situación actual circuito de ventilación Nv 1915 GA 515 E-W

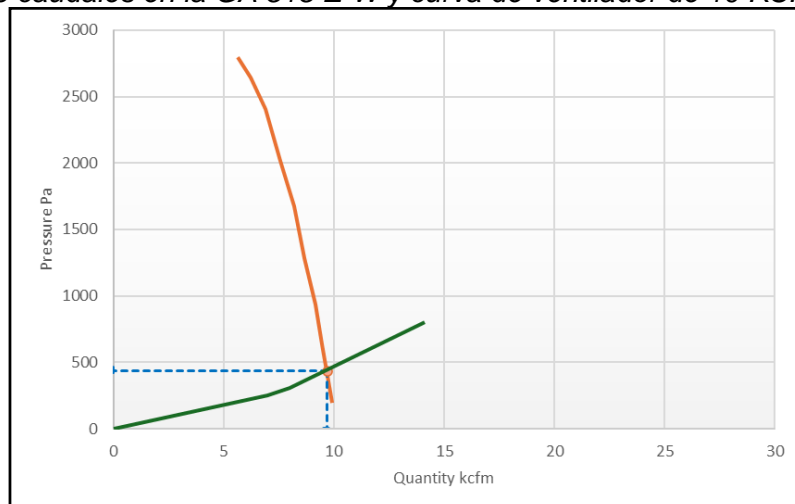


Fuente: Elaboración propia adaptado del Software Ventsim

En la figura 18 se muestra el circuito de ventilación de la GA_515_E-W en el NV 1915 el cual se describe a continuación, el aire fresco que ingresa por el BP_800_E es captado por un ventilador de 10 KCFM y mediante manga de ventilación de 24” es direccionado hacia la GA_515_E y GA_515_W. El circuito de salida de aire viciado es a través de la CH_1200 hacia los niveles superiores.

Figura 18

Simulación de caudales en la GA 515 E-W y curva de ventilador de 10 KCFM



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 28

Simulación de caudales en GA 515 E- W

SIMULACION (GA_515_W)		SIMULACION (GA_515_E)	
Q (kcfm)	2.6	Q (kcfm)	4.1
V (m/s)	0.2	V (m/s)	0.4
P Loss	0.0	P Loss	0.0
R (Ns ² /m ⁸)	0.00714	R (Ns ² /m ⁸)	0.01034

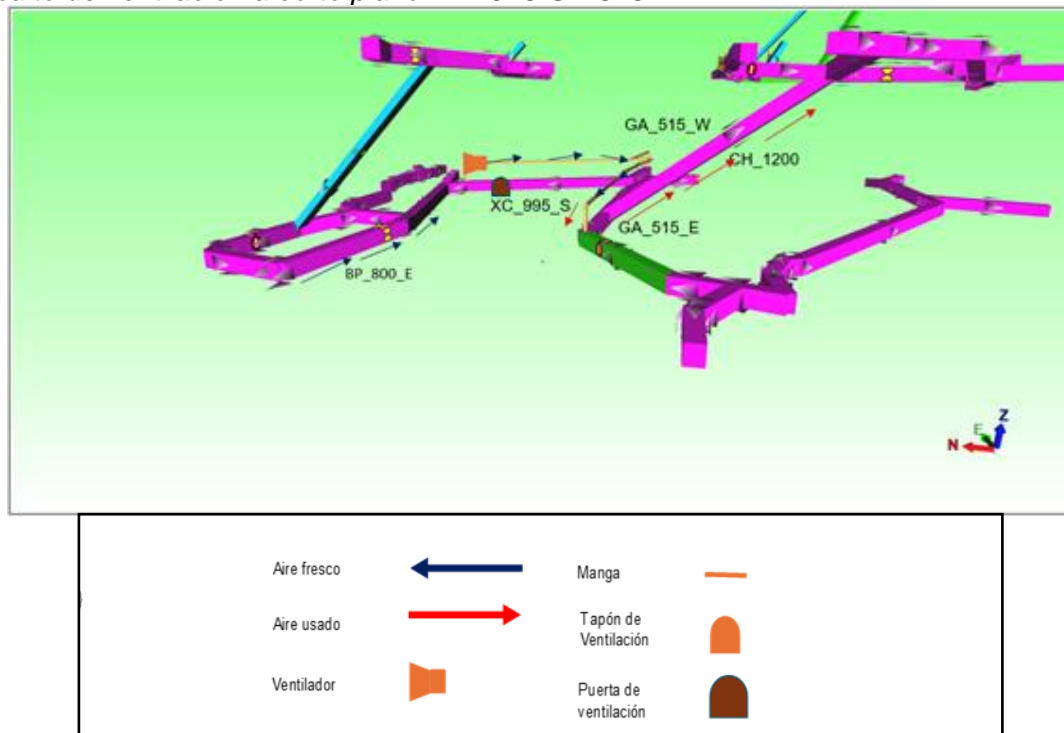
Fuente: Elaboración propia

En la figura 19 se observa la curva de operación del ventilador de 10 KCFM ubicado en el Nv 1915 adicional a ello se muestra la simulación de caudales en la GA 515 E-W en donde se observa caudal de aire deficiente en la GA_515_W (2600 CFM). Se proponen los trabajos necesarios para mejorar el caudal:

Proyecto a corto plazo

Figura 19

Circuito de ventilación a corto plazo Nv 1915 GA 515 E-W

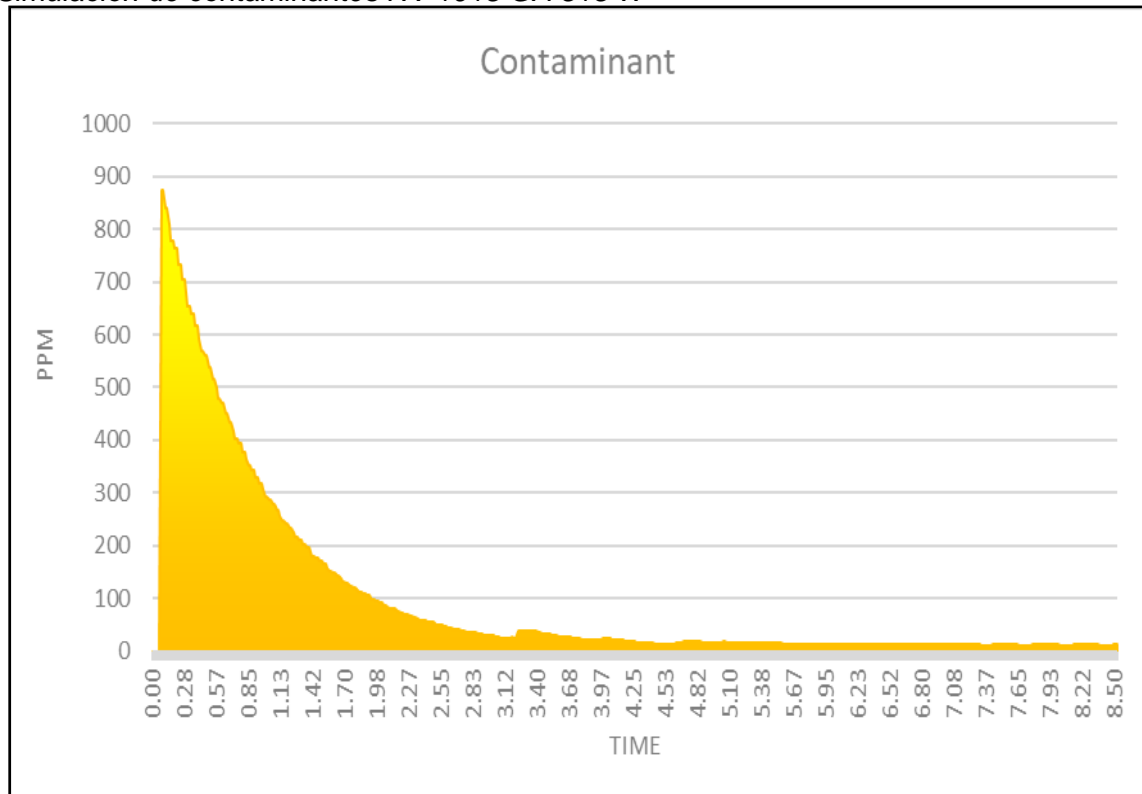


Fuente: Elaboración propia adaptado del Software Ventsim

Asimismo, para mejorar las condiciones termo ambientales en ambos frentes se debe adelantar (45 m) el ventilador de 10 KCFM en el XC_995_S instalado con manga de ventilación de 24" de diámetro. Y se debe realizar la integración de la GA_515_W y GA_810_E mediante un crucero de ventilación.

Figura 20

Simulación de contaminantes NV 1915 GA 515 W



Fuente: Elaboración propia

Con el adelanto del ventilador de 10 KCFM se espera que el tiempo de ventilación de los contaminantes sea entre 10 a 15 minutos en el tope de la GA 515 W, esto implica como se menciona líneas arriba que el diámetro de la manga de ventilación es de 24". Esto se muestra en la figura 21.

Se muestra la simulación del caudal de la GA 515 E en la tabla 29.

Tabla 29

Simulación GA 515 E

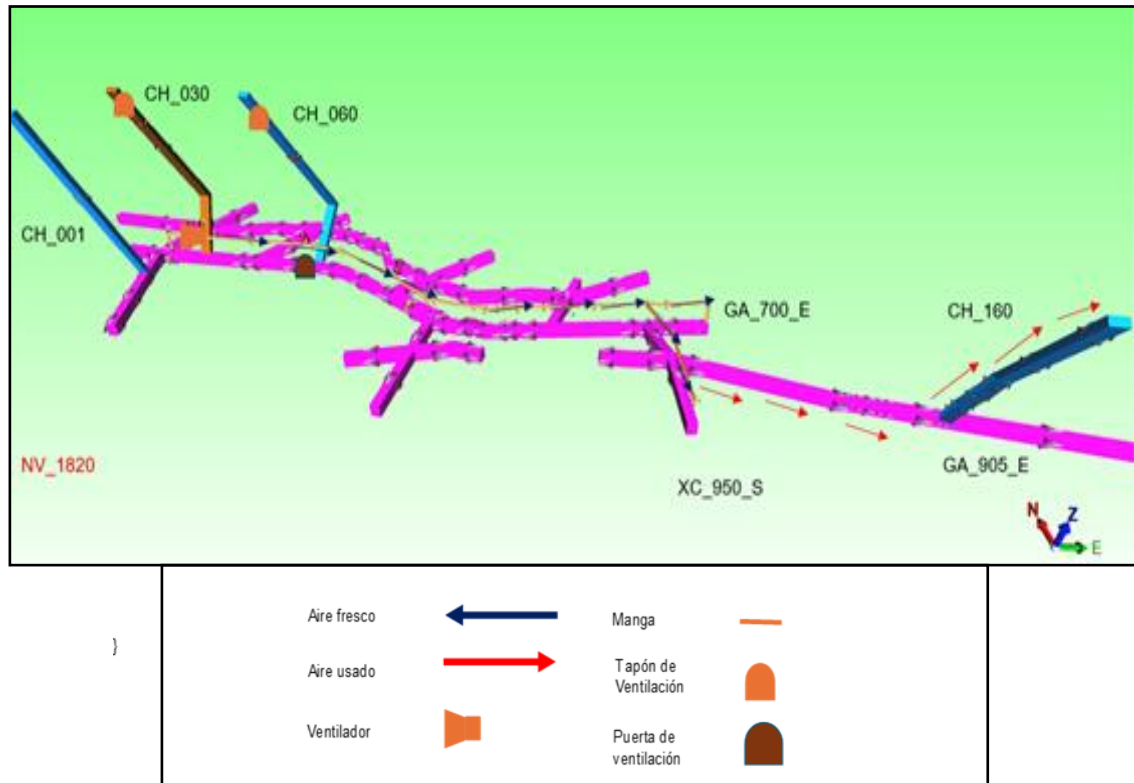
SIMULACION	
Q (kcfm)	5.8
V (m/s)	0.5
P Loss (Pa)	0.0
R (Ns ² /m ⁸)	0.00714

Fuente: Elaboración propia.

3.6.4 NV 1820 XC 950 S

Figura 21

Circuito actual de ventilación



Fuente: Elaboración propia adaptado del Software Ventsim

En la figura 21 se muestra el circuito actual de ventilación, el cual consta de un ventilador inyector de aire de 20 KCFM / 50 HP ubicado en el BP_685_E. El aire fresco ingresa desde bocamina por el BP_685_E el cual es captado por el ventilador y direccionado con una línea de manga de ventilación mellizas de 18" hacia el XC_950_S. El sistema de extracción del aire viciado es dado por la CH_160 hacia el NV_1860 por tiro natural donde por medio de compuertas y tapones de ventilación será direccionado hacia los niveles superiores y hacia superficie del NV_2130. La CH_030 se encuentra rellena. Se recomienda colocar un tapón en la CH_060 del NV_1860 para evitar la recirculación del aire viciado en este nivel y evitar el aumento de temperatura.

En la siguiente tabla 30 se muestra el cálculo de requerimiento de aire por personal con un total de 1412.58 CFM.

Tabla 30*Requerimiento de aire por persona Nv 1820 XC 950 S*

EMPRESA	GDIA A	GDIA B	GDIA C	N° de Personas mayor por gdia	Caudal por persona m ³ /min	Q Req. (m ³ /min)	Q Req. (CFM)
COMPAÑÍA	2	2	2	2	4	8	282.52
CONTRATISTA	8	8	8	8	4	32	1,130.06
				10	8	40	1,412.58

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla 31 se muestra el cálculo de requerimiento de aire por equipo diésel con un total de 128166.19 CFM

Tabla 31*Requerimiento de aire por equipo Diesel*

Equipo	Marca	Modelo	Potencia nominal (hp)	Potencia efectiva (hp)	Disponibilidad mecánica (dm)	Factor de utilización (fu)	m ³ /min	CFM
Scooptram	Sandvik	LH 203	150.00	145.50	80%	60%	209.52	7,399.09
Jumbo Frontonero	Resemin	MUKI FF	98.00	95.06	70%	20%	39.9252	1,409.94
Mini Dumper	Mepp	406	94.00	91.18	70%	60%	114.887	4,057.17
							364.332	12,866.19

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 32 se muestra el resumen del cálculo de requerimiento de aire en total es 16420.59 CFM.

Tabla 32*Requerimiento total de aire*

REQUERIMIENTO TOTAL	m ³ /min	CFM
REQUERIMIENTO POR PERSONAS	40	1,412.58
REQUERIMIENTO POR EQUIPO	364.332	12,866.19
REQUERIMIENTO POR FUGAS	60.6498	2,141.82
	464.98	16,420.59

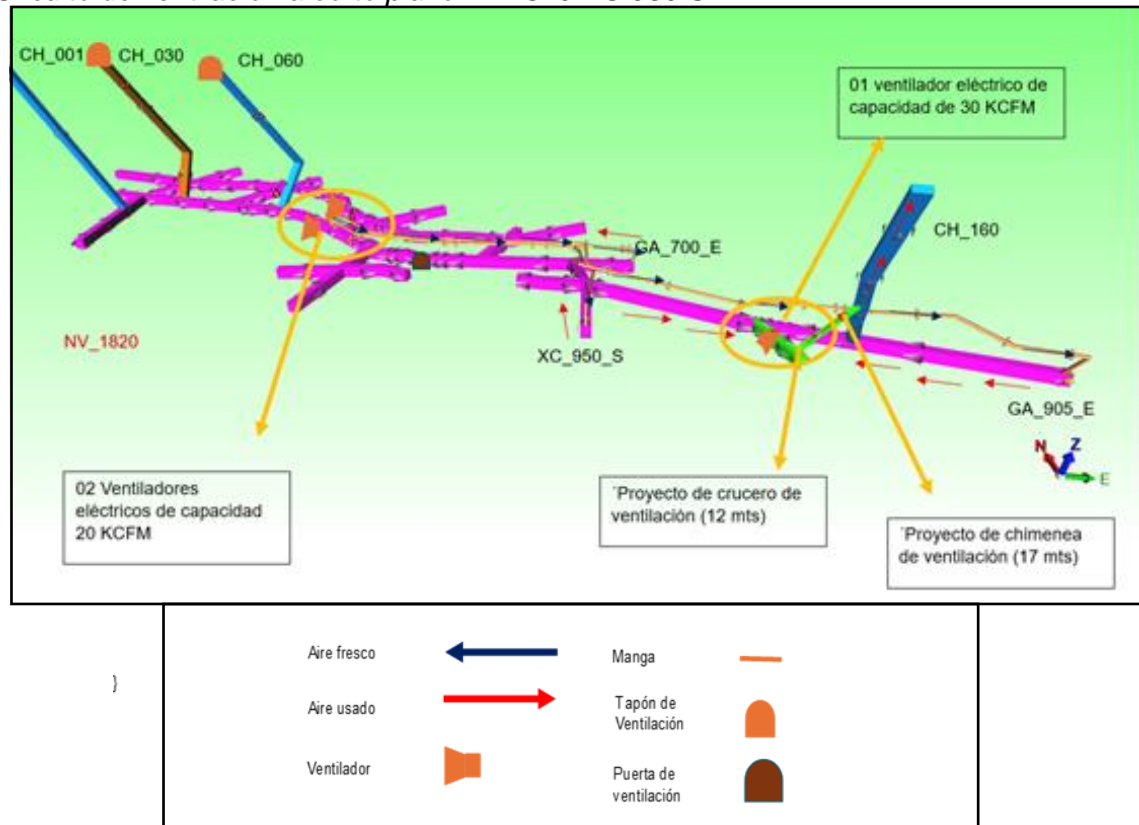
Fuente: Elaboración propia.

Considerando que se va atacar 03 frentes a la vez, XC_950_S, GA_905_E, BP 865_E, entonces se adelantará el ventilador de 20 KCFM en el XC_900_N y se instalará

un ventilador adicional de 20 KCFM en paralelo en el XC_900_N con el cual se asegurará la cobertura de aire en los 03 frentes.

Figura 22

Circuito de ventilación a corto plazo Nv 1820 XC 950 S



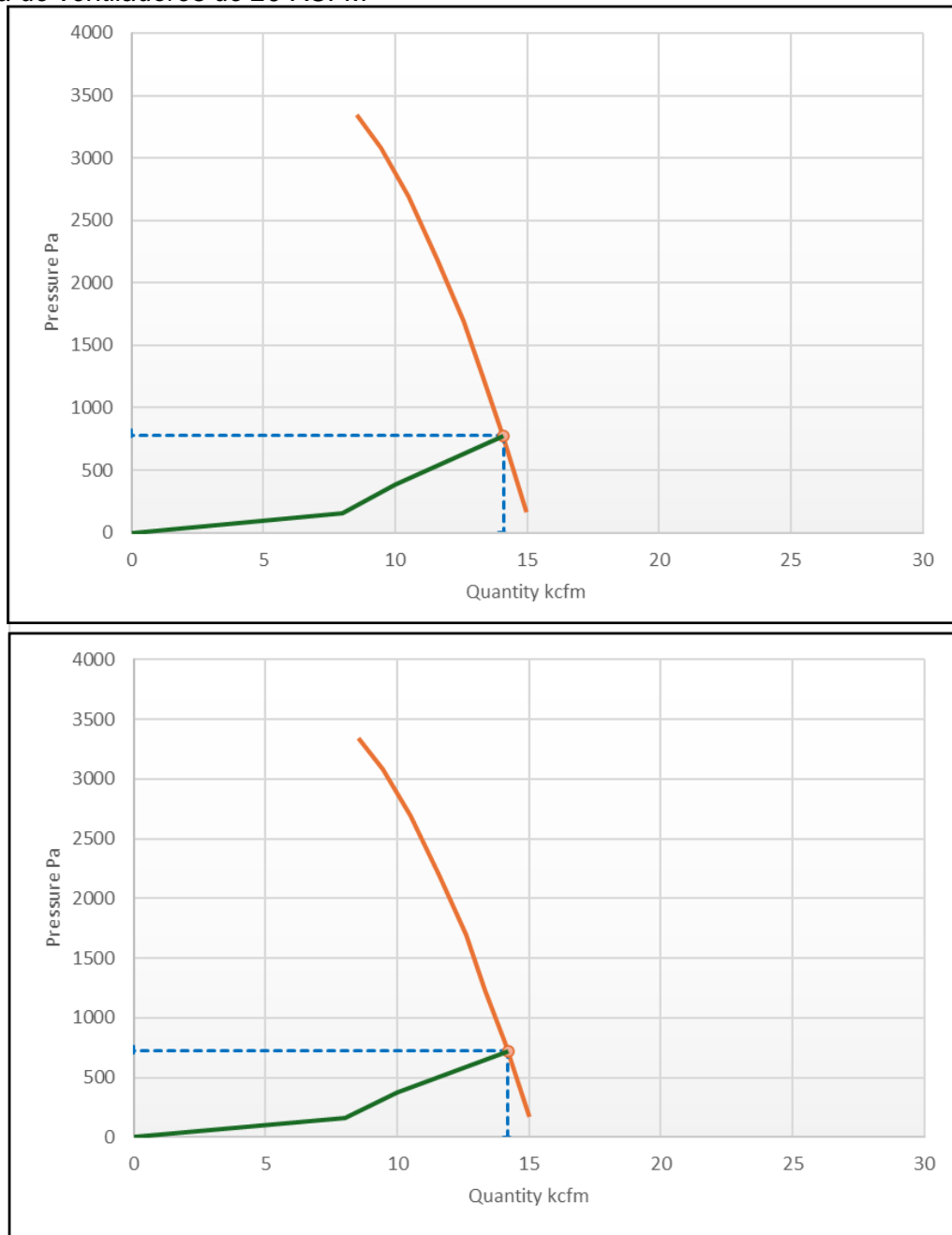
Fuente: Elaboración propia adaptado del Software Ventsim

El plan de mejora para la condición del XC_950_S y el avance de los otros frentes GA_905_E y BP_685_E. Consiste en la implementación de un ventilador adicional de 20 KCFM 50 HP para instalarlo en paralelo e insuflar a los 03 frentes con ambos ventiladores de 20 KCFM con manga de ventilación melliza de 18”.

En la figura 23 se muestra la curva de operación de los 02 ventiladores de 20 KCFM instalados en el Nv 1820 donde se muestra la eficiencia de los 2 ventiladores de capacidad 20 KCFM.

Figura 23

Curva de ventiladores de 20 KCFM

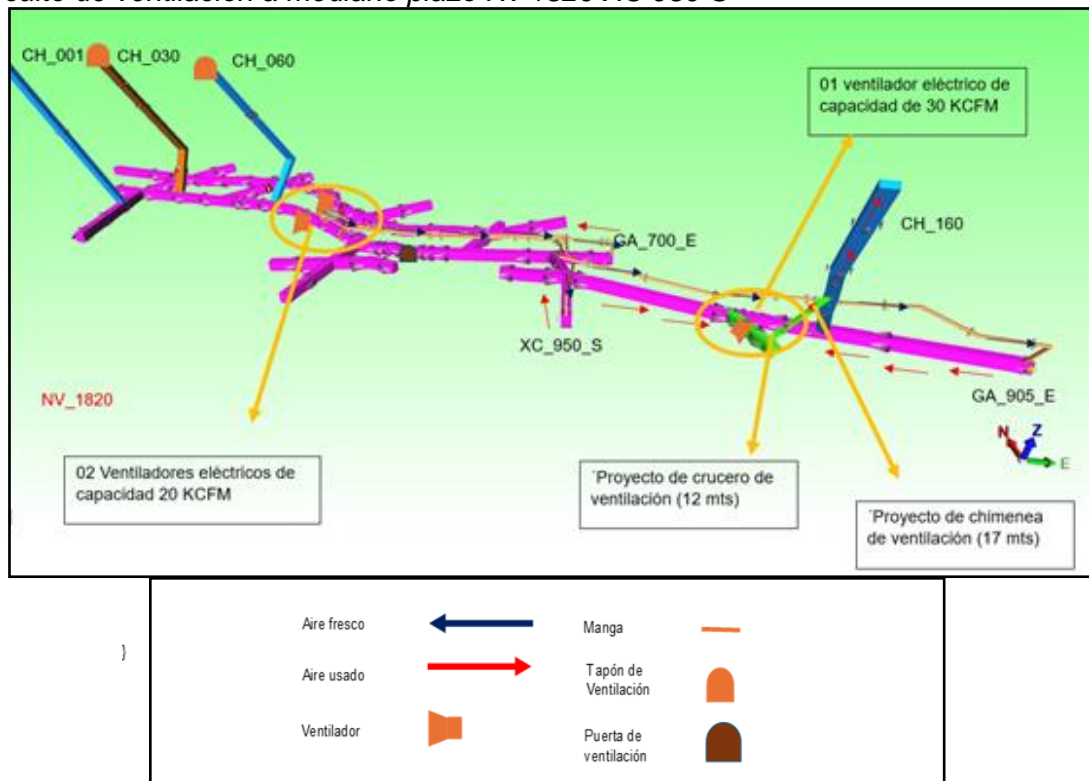


Fuente: Elaboración propia

La mejora en el mediano plazo del circuito ventilación consiste en la extracción de aire viciado la cual se realizará mediante un ventilador extractor de 30 kcfm que estará instalado en un crucero de ventilación como proyecto (Longitud de 12 m) ubicado a 10 m al oeste de la CH_160 en el NV_1820. Desde el crucero se ejecutará una chimenea piloto de 17 m de sección 1.2x1.2 hacia la CH 160

Figura 24

Circuito de ventilación a mediano plazo Nv 1820 XC 950 S



Fuente: Elaboración propia adaptado del Software Ventsim

3.6.5 NV 1820 XC 300 S

El XC_300_S es un proyecto de exploración mediano plazo con el cual se plantea explorar Vetas como Carmen Esperanza V, Rosario con el cual se tiene como fin recuperar recursos y reponer reservas mineras. El frente del XC_300_S se realiza con un equipo scoop. Se detalla el requerimiento de aire para el XC_300_S. El XC_300_S lleva tiempo sin retomar el cual se está retomando.

En la tabla 33 se muestra el cálculo de aire por persona en el proyecto de exploración del XC 300 S.

Tabla 33

Requerimiento de aire por persona

EMPRESA	GDIA A	GDIA B	GDIA C	N° de Personas mayor por gdia	Caudal por persona m ³ /min	Q Req. (m ³ /min)	Q Req. (CFM)
COMPAÑÍA	2	2	2	2	4	8	282.52
CONTRATISTA	4	4	4	4	4	16	565.03
				6	8	24	847.55

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 34 se muestra el cálculo y el total de requerimientos e aire fresco por equipos diésel

Tabla 34

Requerimiento de aire por equipo diésel

Equipo	Marca	Modelo	Potencia nominal (HP)	Potencia efectiva (HP)	Disponibilidad mecánica (DM)	Factor de utilización (Fu)	m ³ /min	CFM
SCOOPTRAM	SANDVIK	LH 203	150.00	145.50	80%	50%	174.6	6,165.91
							174.6	6,165.91

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 35 se muestra el resumen del requerimiento total de aire incluyendo el caudal de aire por fugas

Tabla 35

Requerimiento de aire total

REQUERIMIENTO TOTAL	m ³ /min	CFM
REQUERIMIENTO POR PERSONAS	24	847.55
REQUERIMIENTO POR EQUIPO	174.6	6,165.91
REQUERIMIENTO POR FUGAS	29.79	1,052.02
	228.39	8,065.47

Fuente: Elaboración propia

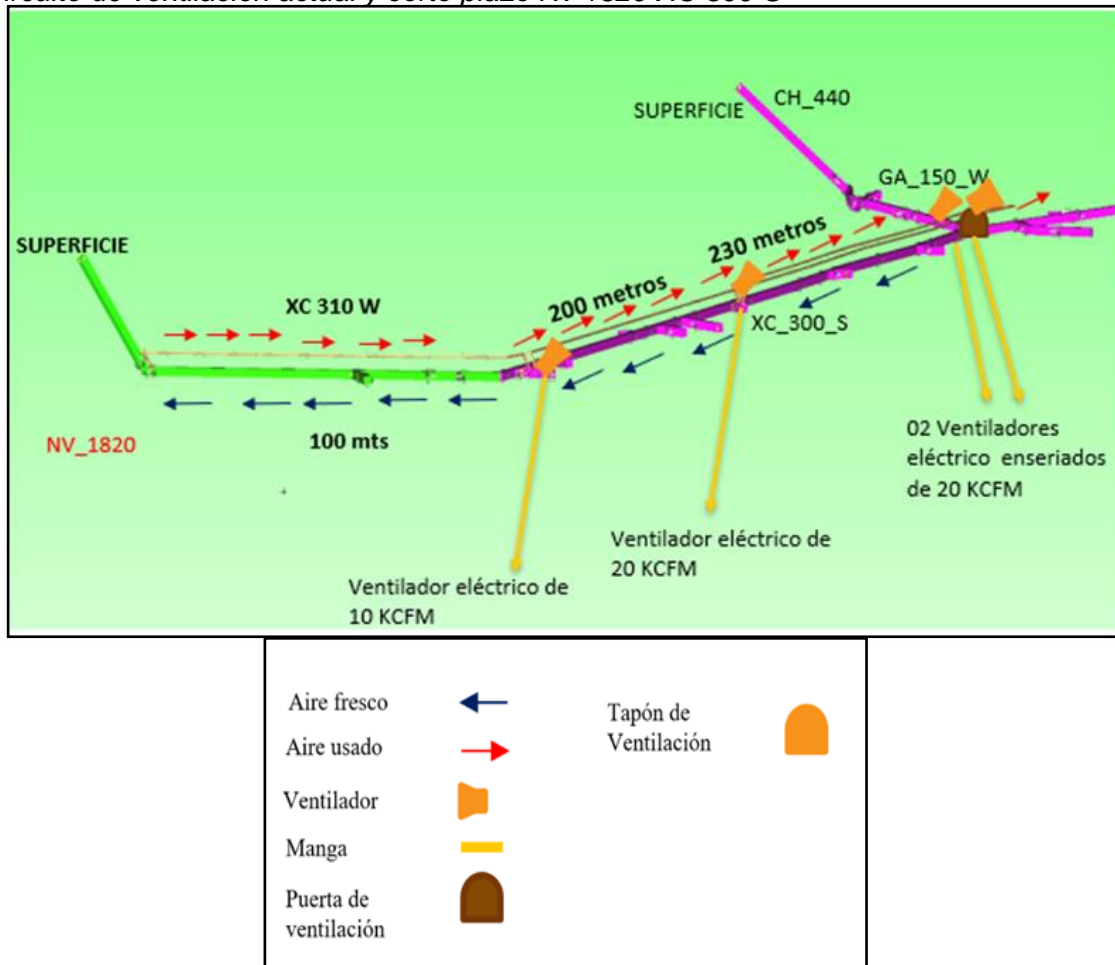
Situación actual

Para retomar el XC_300_S, NV_1820, se debe instalar 02 ventiladores enseriados en paralelo de capacidad de 20 KCFM de 50 HP con 02 líneas de manga de ventilación de 24", a una distancia de 230 m se debe ejecutar una cámara pulmón de ventilación donde se instalará un ventilador de 20 Kcfm con manga de ventilación de 24". A 200 m de la 1ª cámara de ventilación. Se debe instalar un ventilador de 10 Kcfm en una 2ª Cámara de Ventilación donde se instalará un ventilador de 10 Kcfm.

El circuito de aire viciado es a través del XC_300_S en retirada hasta llegar a la CH_440 en el XC_220, el cual se direccionará al NV_1860 y por medio de la red de chimeneas se direcciona hacia los niveles superiores y superficie.

Figura 25

Circuito de ventilación actual y corto plazo Nv 1820 XC 300 S



Fuente: Elaboración propia adaptado del Software Ventsim

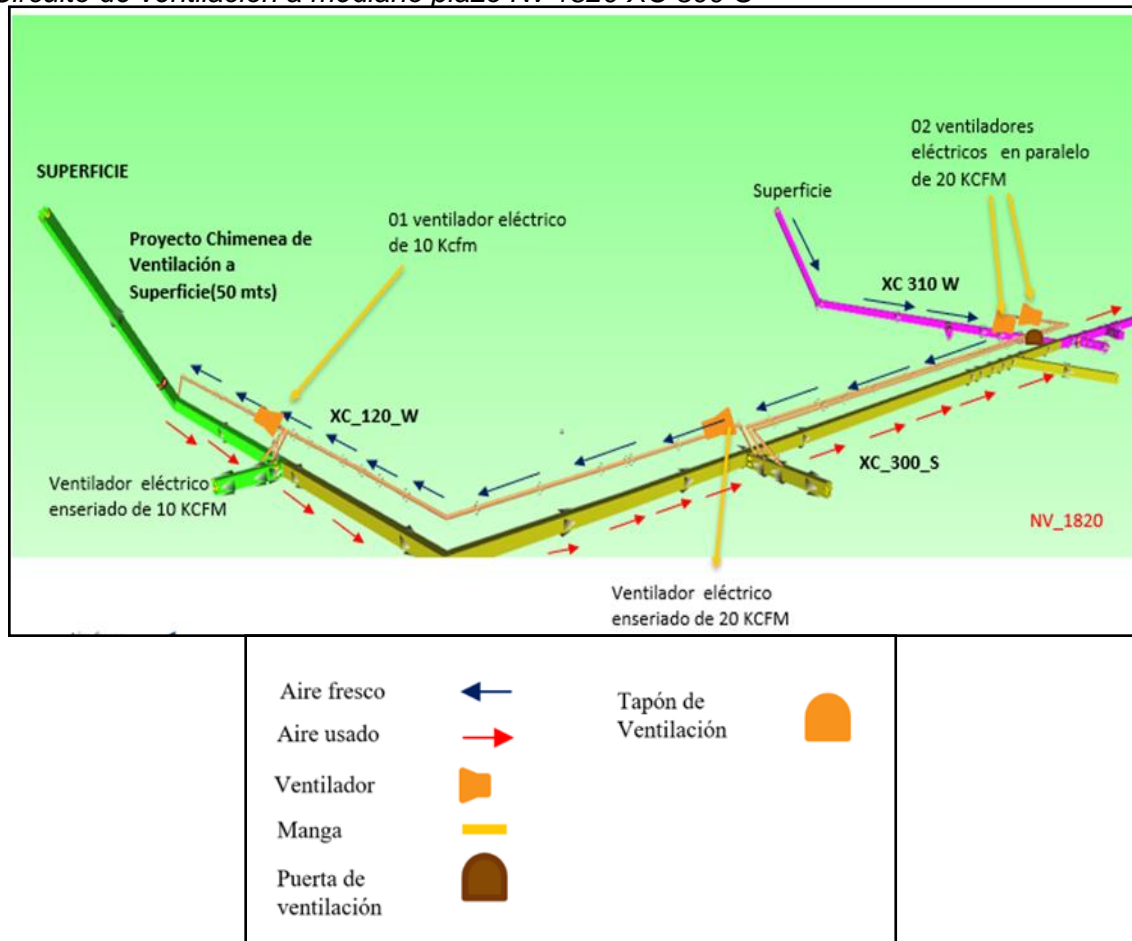
Se detalla a continuación el circuito de ventilación a corto plazo del XC 300 S Nv 1820, se debe ejecutar el XC_310_W una longitud de 100 m sobre la Veta Esperanza y posterior a ello ejecutarse una chimenea de ventilación de 40 m a superficie.

El circuito de aire viciado es a través del XC_300_S en retirada hasta llegar a la CH_440 en el XC_220, el cual se direccionará al NV_1860 y por medio de la red de chimeneas se direcciona hacia los niveles superiores y superficie.

Trabajos a mediano plazo

Figura 26

Circuito de ventilación a mediano plazo Nv 1820 XC 300 S

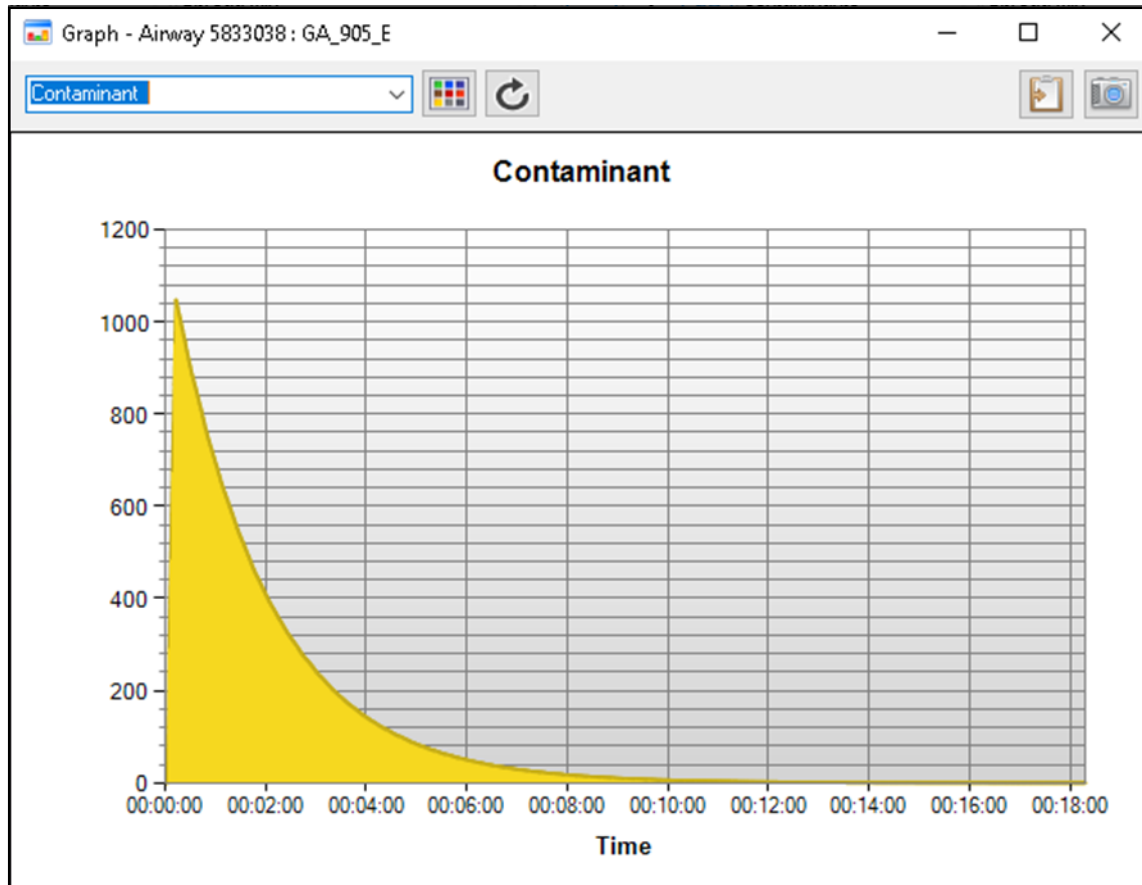


Fuente: Elaboración propia adaptado del Software Ventsim

Para continuar con el avance del XC_300_S se debe instalar adelantando los 02 ventiladores de 20 Kcfm en el XC_310_W donde se captará aire fresco desde superficie y se insuflará mediante 2 líneas de mangas de ventilación de 24" hasta una distancia de 200 m. Después de los 200 metros se ejecutará una cámara de ventilación donde se instalará un ventilador de 20 Kcfm instalado con una línea de manga de ventilación de 24" hasta los 80 m del XC_300_S, se ejecutará el XC_120_W sobre Veta Esperanza VI. El XC_120_W se avanzará 60 m desde donde el cual se ejecutará una 2ª cámara de ventilación y se instalará un ventilador de 10 Kcfm hasta el avance de 60 m en lineal donde se ejecutará una chimenea de ventilación de 50 m de longitud.

Figura 27

Simulación de contaminantes NV 1820 XC 300 S



Fuente: Elaboración propia

Los resultados a mediano plazo con todas las mejoras y proyectos a implementar, se espera que el tiempo de ventilación del frente del XC 300 S sea 10 minutos aproximadamente.

3.6.6 NV 1700 XC 775

Situación actual

Actualmente en el Nv 1700 XC 730 S, se encuentra instalado un ventilador de 30 KCFM que insufla aire fresco captado desde la Bocamina Nv 1700 por medio de mangas de ventilación de 30" hasta el tope del frente. El circuito de salida de aire viciado es en retirada por el XC 775 S hacia la bocamina del Nv 1700 Zona II, la recirculación del aire viciado se controla hermetizando el XC 730 S y colocando una compuerta de ventilación en el XC 720. La capacidad de ventilación de un ventilador de 30 kcfm en un solo frente con manga de ventilación de 30" es 250 m.

El cálculo de requerimiento por personal se muestra en la tabla 36 el cual es 988.81 CFM, para el XC 775 S NV 1700 el cual es el crucero de integración

Tabla 36

Cálculo de requerimiento de aire por persona NV 1700 XC 775 S

EMPRESA	GDIA A	GDIA B	GDIA C	N° de personas mayor por gdia	Caudal por persona m ³ /min	Q Req. (m ³ /min)	Q Req. (CFM)
COMPAÑÍA	2	2	2	2	4	8	282.52
CONTRATISTA	5	5	5	5	4	20	706.29
				7	8	28	988.81

Fuente: Elaboración propia

El cálculo de requerimiento de aire por equipo diésel es 9840.79 CFM esto se muestra en detalle en la tabla 37 con la disponibilidad mecánica y factor de utilización

Tabla 37

Cálculo de requerimiento por equipo diésel Nv 1700 XC 775 S

Equipo	Marca	Modelo	Potencia nominal (HP)	Potencia efectiva (HP)	Disponibilidad mecánica (DM)	Factor de utilización (Fu)	m ³ /min	CFM
Scooptram	Sandvik	LH 203	150.00	145.50	70%	40%	122.22	4,316.14
Jumbo frontonero	Resemin	MUKI FF	98	95.06	70%	40%	79.8504	2,819.84
Mini dumper	Mepp	406	94	91.18	70%	40%	76.5912	2704.818
							278.6616	9,840.79

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 38 se muestra el resumen del requerimiento de aire teniendo en cuenta el cálculo por fugas

Tabla 38

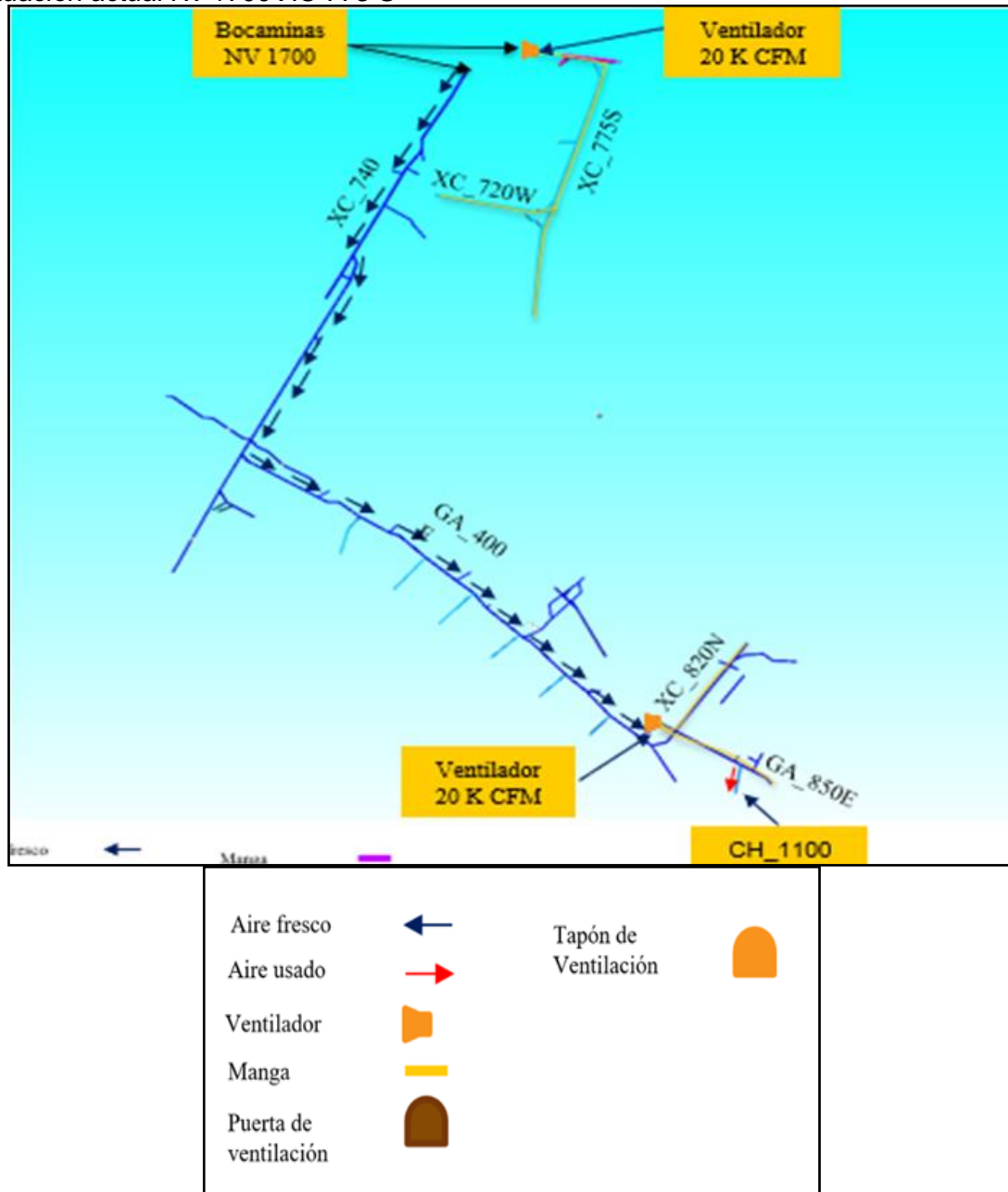
Cálculo de requerimiento de aire total Nv 1700 XC 775 S

REQUERIMIENTO TOTAL	m ³ /min	CFM
REQUERIMIENTO POR PERSONAS	28	988.81
REQUERIMIENTO POR EQUIPO	79.8504	2,819.84
REQUERIMIENTO POR FUGAS	16.17756	571.30
	124.03	4,379.94

Fuente: Elaboración propia

Figura 28

Situación actual Nv 1700 XC 775 S

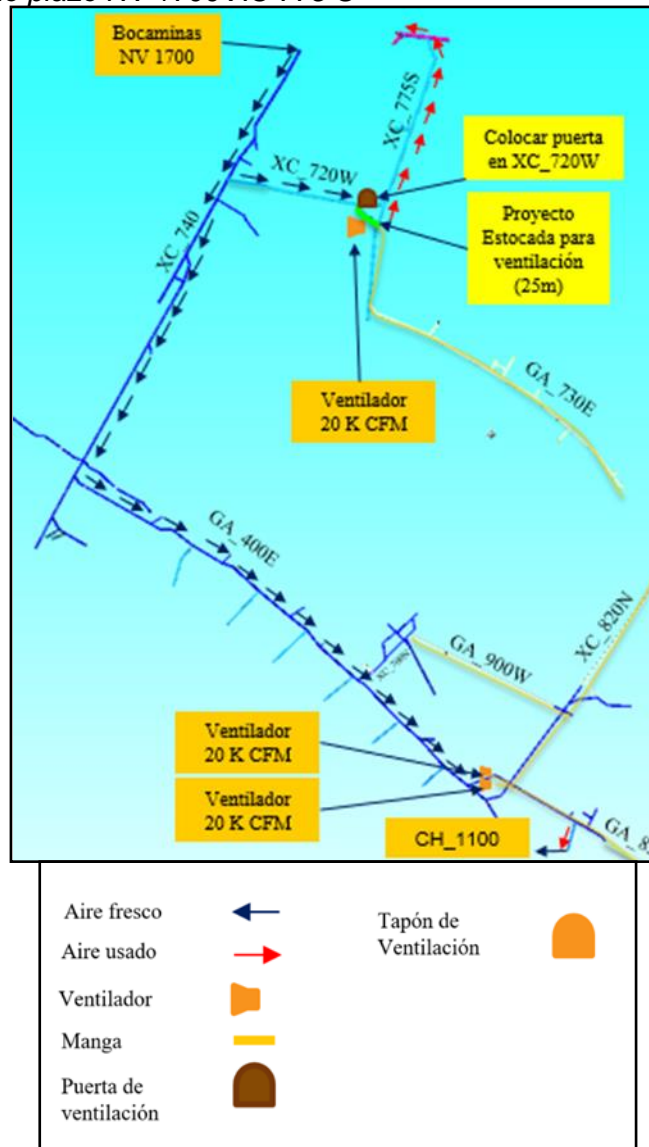


Fuente: Elaboración propia adaptado del Software Ventsim

Para ventilar la veta Ramal Techo esperanza II, se tiene un ventilador de 20 KCFM / 50 HP, ubicado en el XC_830S, que insufla aire hacia el XC_820N y GL_850E. La salida de aire viciado es por la CH_1100, hacia los niveles superiores, hasta llegar a superficie. Para avanzar el XC_775S, se tiene un ventilador de 20KCM/50HP, instalado en superficie, NV 1700.

Figura 29

Situación a mediano plazo NV 1700 XC 775 S



Fuente: Elaboración propia adaptado del Software Ventsim

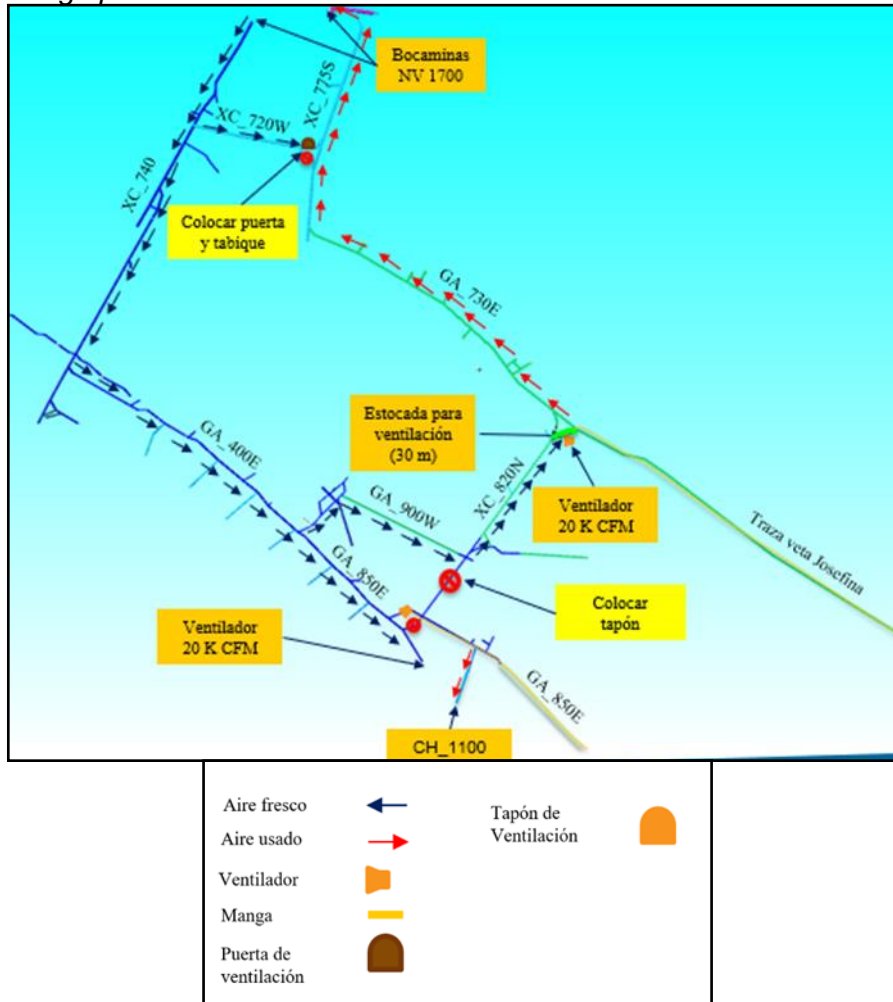
Al comunicar el XC_720W, se deberá ejecutar una estocada que conecte el XC_720W, con el XC_775S (25m). Allí se adelantará el ventilador de 20 KCFM/50HP, que actualmente está ubicado en bocamina. Esto permitirá para continuar el avance de la GA_730E.

A su vez, es necesario avanzar el XC_820N, con la finalidad de integrarlo a la GA_730E, para generar un circuito de ventilación.

Para independizar los circuitos de ingreso y salida de aire, se deberá avanzar la GA_900W hasta conectarla al XC_700N, lo cual permitirá continuar la exploración de la veta Josefina.

Figura 30

Situación a largo plazo Nv 1700 XC 775 S



Fuente: Elaboración propia adaptado del Software Ventsim

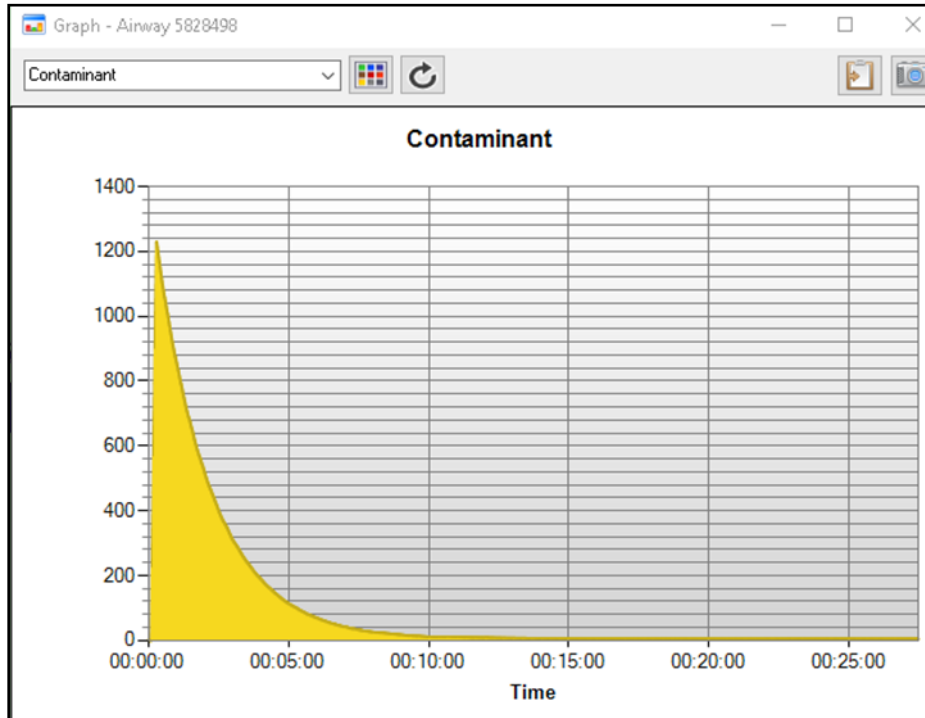
Una vez conectada la GA_900W al XC_720N, se independizará los ingresos y salidas de aire viciado colocando portones de ventilación y tapones. Esto permitirá adelantar el ventilador de 20 KCFM y poder continuar el avance de la galería de exploración en la veta Josefina.

Para adelantar el ventilador, se deberá ejecutar una estocada de 30 m

Para garantizar el avance de la GA_850E, se deberá dar cabeza en el nivel 1730 para ejecutar chimeneas de bloqueo, las cuales serán necesarias para generar circuito de extracción de aire viciado.

Figura 31

Simulación de contaminantes Nv 1700 XC 775 S



Fuente: Elaboración propia

Con los cambios implementados en el circuito de ventilación del Nv 1700 XC 775 S se espera que el tiempo de ventilación sea de 10 minutos.

Capítulo IV. Análisis e interpretación de resultados

4.1 Circuito de ventilación integral de ventilación

Con la implementación de las propuestas en las diferentes fases de los proyectos mineros de exploración se tiene un escenario distinto, sin embargo, nos centraremos en específico en el Nv 1980, pues se observa que de acuerdo a lo propuesto que en el mediano plazo del proyecto Nv 1980 XC 560 se invirtió el sentido del circuito de ventilación en este nivel usando la estación principal PME-09-ZI Nv 1980 como punto de ingreso de aire fresco usando un ventilador de 20 KCFM. Tenemos 02 ventiladores en el Nv 1980 un ventilador de capacidad de 20 KCFM y otro de 10 Kcfm para los frentes en exploración. Asimismo, en el Nv 2020 se tiene un ventilador de 10 KCFM para ventilar la GA_870_E de la Veta Chanchin. Por lo tanto, necesitamos extraer como mínimo 40 KCFM de aire de mina pues es la cantidad de requerimiento de aire en estos 2 niveles, para dimensionar la capacidad de un ventilador principal extractor esta debe ser 10% adicional al requerimiento total de aire calculado localmente según la ecuación 30

$$Q_{ex} = 1.10 * Q_{req} \quad (30)$$

$$Q_{ex} = Q \text{ calculado para extraer aire viciado}$$

$$Q_{req} = Q \text{ de requerimiento de aire}$$

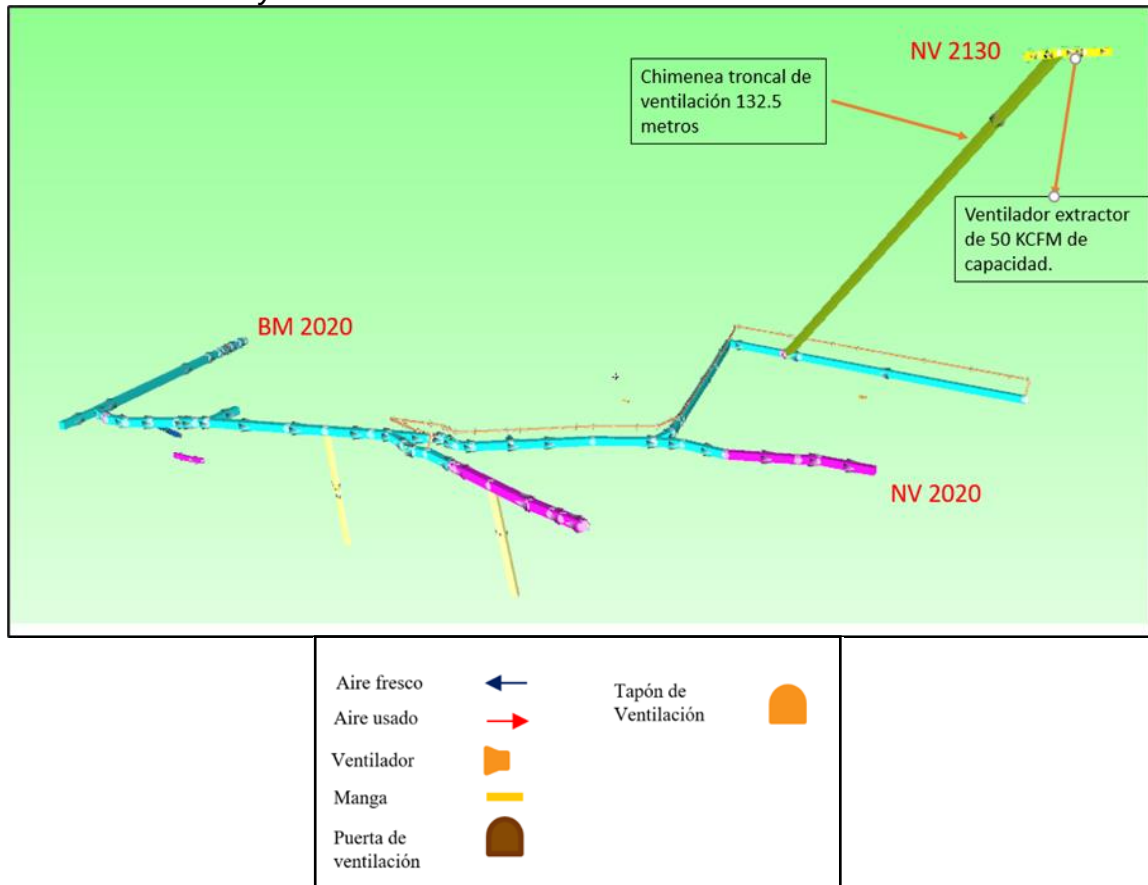
$$Q_{ex} = 1.10\% * 40000$$

$$Q_{ex} = 1.10\% * 40000 = 44000 \text{ CFM}$$

Por lo tanto, la capacidad del ventilador a elegir es un ventilador de 50 KCFM. Este ventilador se instalará en el Nv 2130 a 30 mts de la Bocamina. Es necesario ejecutar una chimenea troncal de ventilación desde el Nv 2020 hacia el Nv 2130 de distancia 132.5 mts. Esto se muestra en la figura 32

Figura 32

Ventilador extractor y Chimenea RB de 132.5 metros



Fuente: Elaboración propia

Ahora debemos calcular el caudal y el costo económico que requerirá la troncal de ventilación de 132.5 metros:

En la tabla 39 se muestran las secciones equivalentes de las chimeneas RB o RC:

Tabla 39

Secciones equivalentes en chimeneas

Sección de Chimeneas Integral		Diámetro
(axb)		D
m	m	m
1.2	1.2	1.4
1.2	1.5	1.5
1.2	2.4	1.9
2	2	2.3
2.2	2.2	2.5
2.5	2.5	2.8
3	3	3.4
3.5	3.5	3.9
4	4	5.1

Fuente: Elaboración propia

Equivalencias de las secciones y los diámetros de las chimeneas:

Se hace un cálculo con las dimensiones mostradas en el cuadro anterior:

El dato requerido para el cálculo del diámetro óptimo de una chimenea es:

- Factor de fricción K
= 0.00223 kg/m³
- Densidad
= 0.98c kg/m³
- Eficiencia ventilador
= 0.85
- Tasa de interés
= 0.12
- Costo de excavación promedio
= 100 US\$/m³
- Longitud de la chimenea integral
= 132.5 m
- Costo de energía
= 0.50 US\$/KW-h

A continuación, se detalla el costo total de las chimeneas a realizarse con las secciones mostradas en la tabla anterior:

Tabla 40*Cálculo de diámetro óptimo en RB*

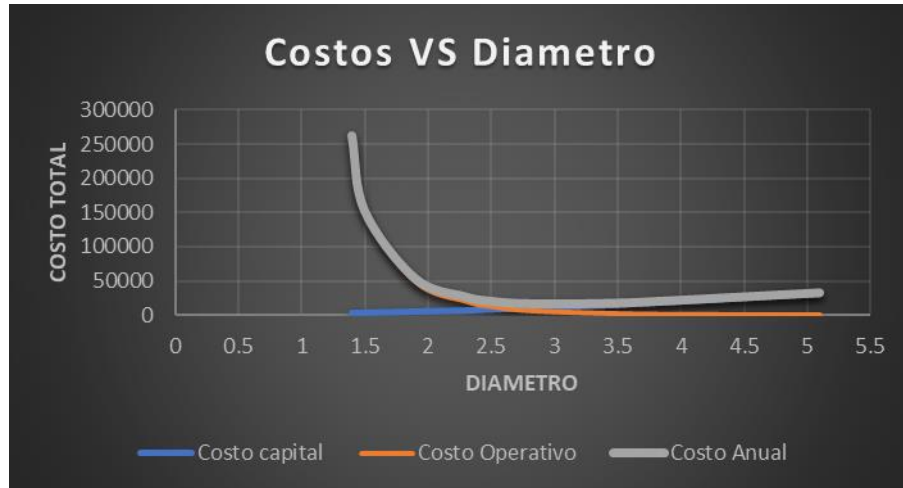
Diámetro	Área	Perímetro	Factor de fricción	Caudal fijo	Volumen	Costo capital	Caída presión	Potencia freno	Costo Operativo	Costo Anual
(D)	(A)	(C)	(k)	(Q)	(V)	(CC)	(Hf)	(BHP)	(CO)	(CT)
(m)	(m ²)	(m)	kg/m ³	m ³ /s	(m ³)	US\$	Pa	US\$	US\$	US\$
1.4	1.44	4.8	0.022	23.6	190.8	2289.6	2,131.38	59.18	259,196.03	261,485.63
1.5	1.8	5.4	0.022	23.6	238.5	2862	1,227.68	34.09	149,296.91	152,158.91
1.9	2.88	7.2	0.022	23.6	381.6	4579.2	399.63	11.10	48,599.26	53,178.46
2.3	4	8	0.022	23.6	530	6360	165.74	4.60	20,155.08	26,515.08
2.5	4.84	8.8	0.022	23.6	641.3	7695.6	102.91	2.86	12,514.72	20,210.32
2.8	6.25	10	0.022	23.6	828.125	9937.5	54.31	1.51	6,604.42	16,541.92
3.4	9	12	0.022	23.6	1192.5	14310	21.83	0.61	2,654.17	16,964.17
3.9	12.25	14	0.022	23.6	1623.125	19477.5	10.10	0.28	1,227.99	20,705.49
5.1	20.25	16	0.022	23.6	2683.125	32197.5	2.55	0.07	310.68	32,508.18

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 40 adjunta se puede observar la variación en los costos operativos y costos de capital y el acumulativo de costo total al variar el diámetro del RB y su equivalente en secciones.

Figura 33

Gráfico de costos totales vs Diámetros de RB



Fuente: Elaboración propia

En la figura 33 se puede observar que el costo total va disminuyendo hasta un punto crítico donde el diámetro del RB es 2.8 m a partir del cual se va incrementando. Debido a esto se concluye que el diámetro óptimo para el RB de 132.5 m y por el cual se va instalar un ventilador de 50 KCFM es 2.8 metros. En la siguiente tabla 41 se muestran los parámetros del ventilador extractor a instalarse en el Nv 2130 en la cabeza de la chimenea RB de 132.5 metros

Tabla 41

Parámetros de diseño del ventilador extractor

Parámetros de diseño de ventilador extractor		
Caudal	50000	CFM
Presión	12	" H20
Eficiencia	80	%
Densidad	0.97	kg/m ³
Potencia	125	HP

Fuente: Elaboración propia

Al realizarse la instalación del ventilador de 50 KCFM de 12" H20 con una potencia de 125 HP y una eficiencia del 80% en el Nv 2130 de Zona II se observa un cambio significativo en el sistema de ventilación integral de la U.E.A Capitana, esto se traduce en

las mediciones de las principales estaciones de monitoreo las cuales se muestran en la tabla 42:

Tabla 42

Requerimiento de aire de mina y cobertura

REQUERIMIENTO	m³/min	cfm
Caudal total de ingreso de aire	4144.14	146,350.14
Caudal total de salida de aire	4232.02	149,453.91
Balance	2.1%	2.1%
Requerimiento de aire	3,060.14	108,069.12
Superávit	1084.00	38,281.01

Fuente: Elaboración propia

Como se mencionó anteriormente con la instalación del ventilador extractor de 50 KCFM el cual se define como un ventilador principal, se muestra un incremento en el caudal total de aire fresco que ingresa a mina de 146,350.14 y el caudal de salida de aire viciado de 149,453.91 obteniéndose una cobertura de 135% positiva. Con estos datos se puede decir que la mina se encuentra cobertura con un exceso de 35% ,esto se muestra en la tabla 43

Tabla 43

Cobertura de aire de mina y balance de aire de mina

Balance de ingresos y salidas de aire de mina			
Total de ingreso de aire fresco	4,144.14	146,350.14	CFM
Total de salida de aire viciado	4,232.02	149,453.91	CFM
Balance o diferencia de ingreso y salida /margen de error	2.1 %	2.1 %	
Cobertura		135.42 %	

Fuente: Elaboración propia

Al calcular el balance de aire de mina se puede observar que se tiene una diferencia de 2.1% encontrándose por debajo del 10% de lo que considera la legislación minera ,asimismo recordar que en una etapa inicial se tenía mayor cantidad de aire fresco que ingresa a mina respecto al caudal de salida de aire viciado .Sin embargo ahora se puede observar que se tiene mayor cantidad de aire viciado que sale de mina respecto a la cantidad de aire fresco que ingreso esto porque también se inyecta aire mediante

compresoras de aire y otras fuentes de aire por ello es regla general que la cantidad de aire viciado sea mayor que la cantidad de aire de ingreso.

4.2 Costo energético de los ventiladores

En el sector energético de los ventiladores se va proceder a realizar una comparativa de los ventiladores actuales y a las cargas proyectadas con todos los cambios proyectados del circuito de ventilación a continuación se va mostrar la tabla actualizada de ventiladores en operación solo para proyectos de exploración minera:

Tabla 44

Costo Actual operativo de ventiladores en operación

SITUACIÓN ACTUAL DE VENTILADORES EN EXPLORACIÓN															
Ítem	Sistema	Marca	Nivel	Zona	Caudal	Caudal	Potencia nominal		Potencia Operativa		Tipo	Estado actual	Costo Energía (USD/Kw-h)	Costo (USD/día)	Costo Anual (USD/año)
					cfm	m ³ /min	HP	Kw	HP	Kw					
1	Axial	AIRTEC	1980	I	20,000	566.0	50.0	41.8	48.3	37.0	Auxiliar	OPERATIVO	0.42	310.80	113,442.00
2	Axial	AIRTEC	1980	I	20,000	566.0	50.0	41.8	48.3	38.0	Auxiliar	OPERATIVO	0.42	319.20	116,508.00
3	Axial	AIRTEC	1940	I	20,000	566.0	50.0	41.8	48.3	37.0	Auxiliar	OPERATIVO	0.42	310.80	113,442.00
4	Axial	AIRTEC	1915	I	10,000	283.0	30.0	22.4	16.0	12.0	Auxiliar	OPERATIVO	0.42	100.80	36,792.00
5	Axial	AIRTEC	1820	I	20,000	566.0	50.0	41.8	48.3	37.0	Auxiliar	OPERATIVO	0.42	310.80	113,442.00
6	Axial	AIRTEC	1820	I	20,000	566.0	50.0	41.8	48.3	38.0	Auxiliar	OPERATIVO	0.42	319.20	116,508.00
7	Axial	AIRTEC	1820	I	20,000	566.0	50.0	41.8	48.3	37.0	Auxiliar	OPERATIVO	0.42	310.80	113,442.00
8	Axial	AIRTEC	1820	I	20,000	566.0	50.0	41.8	48.3	38.0	Auxiliar	OPERATIVO	0.42	319.20	116,508.00
9	Axial	AIRTEC	1820	I	10,000	566.0	50.0	41.8	48.3	38.0	Auxiliar	OPERATIVO	0.42	319.20	116,508.00
10	Axial	AIRTEC	1700	I	20,000	566.0	50.0	41.8	48.3	38.0	Auxiliar	OPERATIVO	0.42	319.20	116,508.00
															1,073,100.00

Fuente: Elaboración propia

Se observa que el costo operativo es alto con un total de 1,073,100.00 \$, esto es por la gran cantidad de ventiladores actuales de 20 KCFM en los proyectos de exploración que se tienen, esto es básicamente por los equipos scooptram los cuales requieren un mayor caudal para llevar a cabo sus operaciones, Asimismo se puede observar que en el Nv 1820 XC 300 S se están usando 3 ventiladores como enseriado en los proyectos de corto mediano plazo esto es por la falta de un nivel superior para ejecución de chimeneas a dichos niveles .

Debe mencionarse que en cuanto el proyecto a mediano plazo culmine y se inicie la fase de preparación de chimeneas todo este nivel se reemplazara por un ventilador de 20 Kcfm para preparación de los Tajos.

Por otro lado, con los cambios mencionados y con los ventiladores instalados, se detalla el costo energético

Tabla 45

Costo energético proyectado en los proyectos de exploración

SITUACIÓN PROYECTADA DE VENTILADORES EN EXPLORACIÓN															
Ítem	Sistema	Marca	Nivel	Zona	Caudal	Caudal	Potencia nominal		Potencia Operativa		Tipo	Estado actual	Costo Energía (USD/Kw-h)	Costo (USD/día)	Costo Anual (USD/año)
					cfm	m ³ /min	HP	Kw	HP	Kw					
1	Axial	AIRTEC	2020	I	10,000	283	30	22.4	16.0	12.0	Auxiliar	OPERATIVO	0.42	100.8	36,792.00
2	Axial	AIRTEC	1980	I	10,000	283	30	22.4	16.0	12.0	Auxiliar	OPERATIVO	0.42	100.8	36,792.00
3	Axial	AIRTEC	1980	I	20,000	566	50	41.8	48.3	37.0	Auxiliar	OPERATIVO	0.42	310.8	113,442.00
4	Axial	AIRTEC	1940	I	20,000	566	50	41.8	48.3	37.0	Auxiliar	OPERATIVO	0.42	310.8	113,442.00
4	Axial	AIRTEC	1915	I	10,000	283	30	22.4	16.0	12.0	Auxiliar	OPERATIVO	0.42	100.8	36,792.00
5	Axial	AIRTEC	1820	I	30,000	849	75	55.9	70.0	52.1	Auxiliar	OPERATIVO	0.42	437.6	159,738.60
6	Axial	AIRTEC	1820	I	20,000	566	50	41.8	48.3	37.0	Auxiliar	OPERATIVO	0.42	310.8	113,442.00
7	Axial	AIRTEC	1820	I	20,000	566	50	41.8	48.3	38.0	Auxiliar	OPERATIVO	0.42	319.2	116,508.00
8	Axial	AIRTEC	1820	I	20,000	566	50	41.8	48.3	37.0	Auxiliar	OPERATIVO	0.42	310.8	113,442.00
9	Axial	AIRTEC	1820	I	20,000	566	50	41.8	48.3	38.0	Auxiliar	OPERATIVO	0.42	319.2	116,508.00
10	Axial	AIRTEC	1820	I	20,000	566	50	41.8	48.3	38.0	Auxiliar	OPERATIVO	0.42	319.2	116,508.00
11	Axial	AIRTEC	1820	I	10,000	566	50	41.8	48.3	38.0	Auxiliar	OPERATIVO	0.42	319.2	116,508.00
12	Axial	AIRTEC	1700	I	20,000	566	50	41.8	48.3	38.0	Auxiliar	OPERATIVO	0.42	319.2	116,508.00
														1,580,523.00	

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

Se concluye que los proyectos presentados para mejorar el circuito de ventilación local en los proyectos de exploración muestran un resultado positivo debido a que los tiempos de evacuación de los gases producto de la voladura y los gases de los equipos Diesel son en promedio de 10 minutos, asimismo debe mencionarse la importancia del ventilador extractor de 50 KCFM en el Nv 2130 ya que permite la generación del circuito en la troncal de ventilación en los Niveles 1980 y Nv 2020.

Se concluye que la cobertura actual del sistema de ventilación es de 109%, sin embargo, con los proyectos de exploración, las mejoras de ventilación por conexión de labores y la implementación del ventilador de 50 kcfm se observa un aumento en la cobertura global de aire de mina llegando a 136% teniendo un superávit de 36 %.

Se concluye que el balance de aire global de entrada y salida de aire en una situación inicial fue del 16% encontrándose fuera del 10% según lo que indica la legislación minera. Para revertir este escenario y llegar al resultado final del balance de aire de entrada y salida de 2.1% se tuvo la influencia principalmente de la inversión del punto de monitoreo del Nv 1980 y la implementación del ventilador extractor de 50 KCFM en el Nv 2130.

Se determina que los principales gases que se generan producto de la voladura son óxidos nitrosos, sulfuro de hidrogeno, dióxido de carbono, hidrogeno sulfurado a parte de la polución generado producto de la perforación manual con maquina jackleg.

El costo inicial o calculo energético de los ventiladores en operación es de 1,073,100.00 US\$, esto se explica por los ventiladores de 20 KCFM en el Nv 1820 XC 300 S necesarios para garantizar el avance del proyecto de exploración mencionado, el costo de la implementación de las mejoras en el circuito de ventilación asciende a 1,580,523.00 US\$. Con este costo se asegura una cobertura mayor al 100% y un balance de entrada y salida de aire menor al 10% conforme a lo que indica la legislación minera en el Perú para el circuito de ventilación integral de la U.E.A Capitana.

Recomendaciones

Para que el circuito de ventilación de las labores de exploración funcione correctamente se deben instalar compuerta de ventilación para evitar la recirculación, es importante concientizar al personal sobre la importancia de dichos controles como el uso obligatorio en cerrar las compuertas de ventilación

Se recomienda realizar las proyecciones de los proyectos de exploración en coordinación con el área de planeamiento.

Se deben instalar línea mensajera para un mejor estandarizado de las mangas de ventilación y evitar codos de estrangulamiento en las mangas lisas, asimismo se debe implementar codos o manga anilladas para la instalación de mangas de ventilación.

Es necesario que el personal encargado de la planificación y desarrollo de las operaciones de ventilación este capacitado en el uso de software Ventsim.

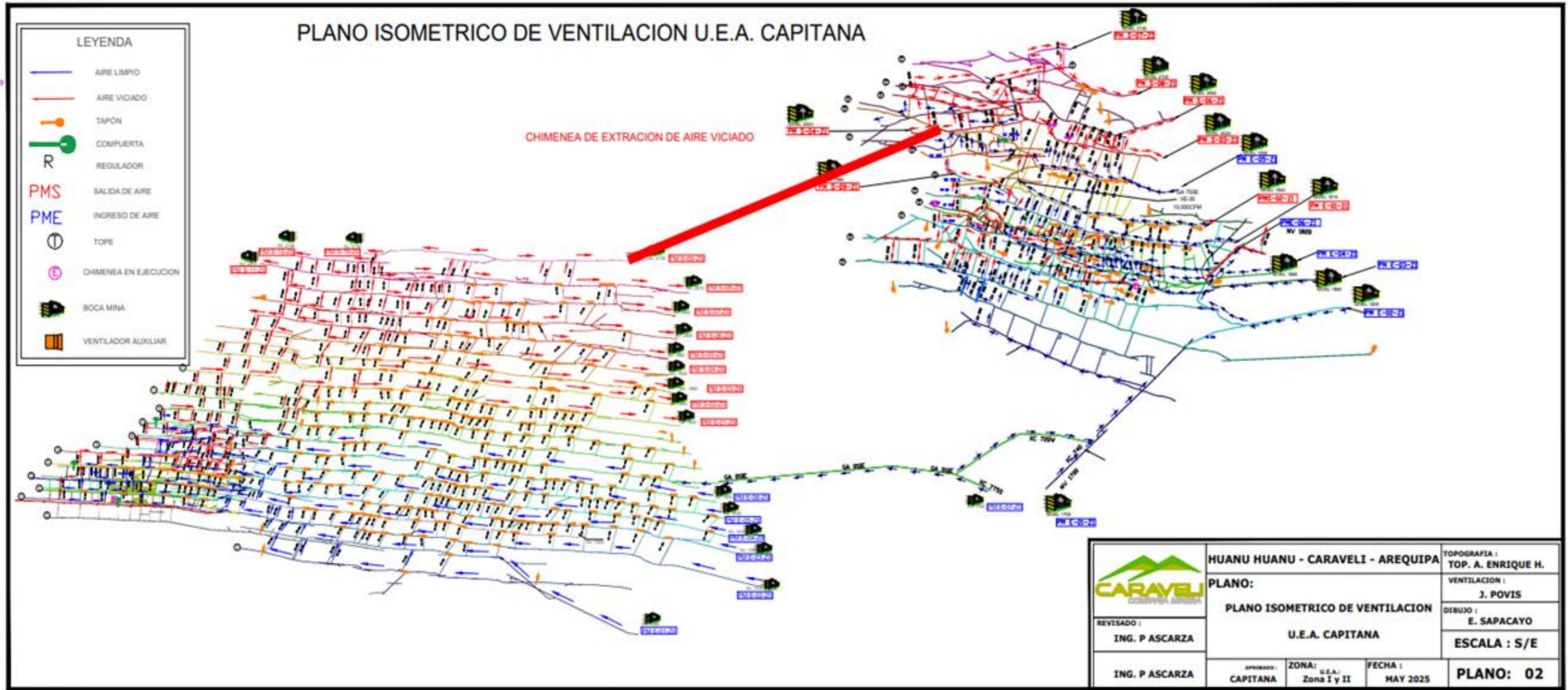
Referencias bibliográficas

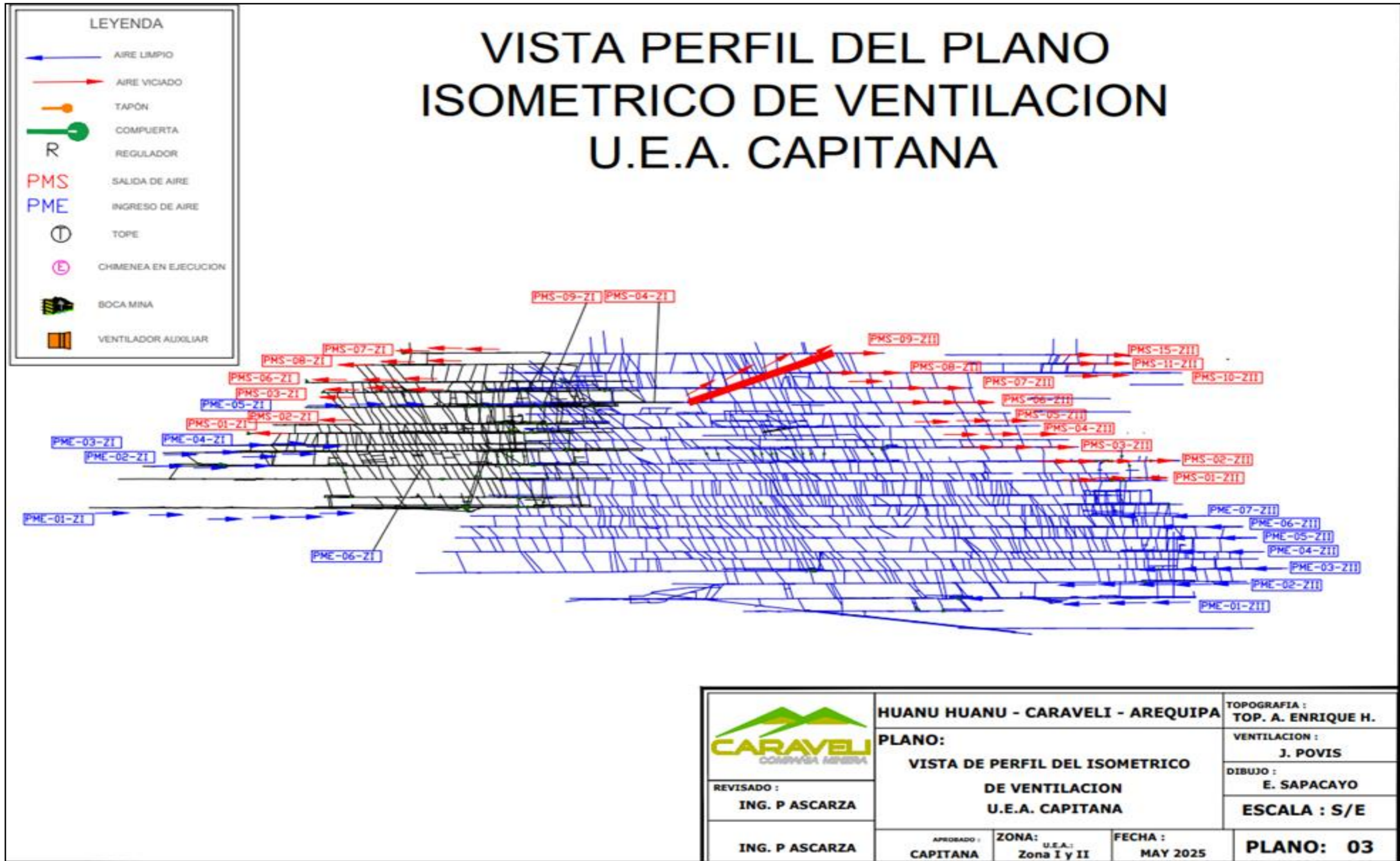
- Janampa, J. R. (2018). *Mejoramiento de la ventilación en la minería subterránea - Mina Colquijirca Cia. de Minas Buenaventura S.A.A.* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. Repositorio institucional UNDAC. http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/512/1/T026_72490254_T.pdf.
- Palomina, D. A. (2022). *Optimización del sistema de Ventilación en Minería Subterránea usando Ventsim.* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Moquegua]. Repositorio Institucional. UNAM. <https://repositorio.unam.edu.pe/handle/UNAM/366>
- Ramos, R. W. (2021). *Diseño del circuito de ventilación para evacuar los gases, humo y polvo en suspensión en las labores de la galería principal en la mina artesanal Aurex - Acopalca.* [Tesis de Pregrado, Universidad Continental] Repositorio institucional Continental. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/8706>
- Torres, R. P. (2021). *Diseño y Modelamiento con los softwares Ventsim y Vuma 3D, para optimizar el circuito de ventilación en Zona Esperanza , U.M. San Juan de Arequipa.* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional San Agustín de Arequipa] Repositorio institucional UNSA: <http://hdl.handle.net/20.500.12773/12918>
- Turpo, N. R. (2022). *Análisis del Sistema de Ventilación y propuesta de mejora para optimizar el Caudal de aire de la minera Aurífera Retamas S.A. Marsa - 2020.* [Tesis de Pregrado, Universidad Tecnológica del Perú] Repositorio institucional UPT: <https://hdl.handle.net/20.500.12867/6110>
- Zamudio, V. I. (2018). *Diseño del Sistema de Ventilación en el Nv 4050 Veta Don Ernesto Unidad Minera el Porvenir- MILPO.* [Tesis de Pregrado, Universidad Continental] Repositorio institucional Continental: <https://hdl.handle.net/20.500.12394/4453>.

Anexos

	Pág.
Anexo 1: Vista isométrica de la mina Capitana	1
Anexo 2: Vista de perfil de la mina Capitana.....	2
Anexo 3: Instalación de manga de ventilación de 24” de diámetro Mina Capitana Nv 1940 GA 350 E	3
Anexo 4: Cámara Pulmón Nv 1820 XC 300 S.....	4
Anexo 5: Límites de exposición ocupacional para agentes químicos	5
Anexo 6: Equipos termo anemómetros	6
Anexo 7: Equipo Analizador de gases TESTO 340	7
Anexo 8: Equipo detector de gases Altair 5X	8

Anexo 1: Vista isométrica de la mina Capitana





Anexo 3: Instalación de manga de ventilación de 24" de diámetro Mina Capitana Nv 1940

GA 350 E



Anexo 4: Cámara Pulmón Nv 1820 XC 300 S



Anexo 5: Límites de exposición ocupacional para agentes químicos

Nº	Agentes Químicos (en el aire)	Límites de Exposición Ocupacional			
		TWA		STEL	Techo (C)
1	Acetona	500	ppm	750 ppm	
2	Ácido Acético	10	ppm	15 ppm	
3	Ácido Clorhídrico				2 ppm
4	Ácido Nítrico	2	ppm	4 ppm	
5	Acido Sulfhídrico (H ₂ S)	10	ppm	15 ppm	
6	Amoníaco Anhidro	25	ppm	35 ppm	
7	Anhídrido Sulfuroso (SO ₂)	2	ppm	5 ppm	
8	Antimonio	0.5	mg/m ³		
9	Arseniato de Plomo	0.15	mg/m ³		
10	Arseniato de Calcio	1	mg/m ³		
11	Arsénico (can)	0.01	mg/m ³ A1		
12	Benceno (can)	0.5	ppm (p)		
13	Cianuro (Como CN)				5 mg/m ³ (p)
14	Cianuro de Hidrogeno (HCN)				4.7 ppm(p)
15	Cloro	0.5	ppm	1 ppm	
16	Clorobenceno	10	ppm	20 ppm	
17	Cloroformo	10	ppm		
18	Cobre (humo)	0.2	mg/m ³		
19	Cobre (polvo/neblina)	1	mg/m ³		
20	Dióxido de Carbono	5000	ppm	30000 ppm	
21	Dióxido de Nitrógeno	3	ppm	5 ppm	
22	Éter Etilico	400	ppm	500 ppm	
23	Fluoruro de Hidrogeno (HF)				2.5 mg/m ³
24	Formaldehído				0.3 ppm
25	Fosgeno	0.1	ppm		
26	Gasolina	500	ppm		
27	Hidrógeno (H)				5000 ppm
28	Humo de Cadmio (can)	0.01	mg/m ³		
29	Humo de Óxido Férrico	5	mg/m ³		
30	Manganeso	0.2	mg/m ³		
31	Mercurio	0.025	mg/m ³ (p)		
32	Metano (CH ₄)				5000 ppm
33	Monóxido de Carbono (CO)	25	ppm		
34	Mónoxido de Nitrogeno	25	ppm		
35	Neblina de acido sulfúrico	1	mg/m ³	3 mg/m ³	
36	Oxígeno (O ₂)	19.5	%		22.5 %
37	Ozono Trabajo Pesado	0.05	ppm		
38	Ozono Trabajo Moderado	0.08	ppm		
39	Ozono Trabajo Ligero	0.1	ppm		
40	Ozono Trabajo Cualquiera (<= 2 horas)	0.2	ppm		
41	Plomo	0.05	mg/m ³		
42	Polvo de Carbón - Antracita	0.4	mg/m ³		
43	Polvo de Carbón - Bituminoso	0.9	mg/m ³		
44	Polvo inhalable (1)	10	mg/m ³		
45	Polvo respirable (1)	3	mg/m ³		
46	Selenio	0.2	mg/m ³		
47	Sílice Cristalino Respirable	0.05	mg/m ³		
48	Sílice Cristalino Respirable (Cuarzo)	0.05	mg/m ³		
49	Sílice Cristalino Respirable (Tridimita)	0.05	mg/m ³		
50	Sílice Cristalino Respirable (Tripoli)	0.1	mg/m ³		
51	Talio, Compuestos solubles de	0.1	mg/m ³ (p)		
52	Telurio	0.1	mg/m ³		

Anexo 6: Equipos termo anemómetros

Kestrel 5000



TESTO 440 y sonda de hilo caliente



Anexo 7: Equipo Analizador de gases TESTO 340



Anexo 8: Equipo detector de gases Altair 5X

