

Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

**Evaluación del sistema de ventilación e incremento del caudal
para mejorar la cobertura de aire en minas subterráneas de oro
de vetas angostas**

Para obtener el título profesional de Ingeniero de Minas

Elaborado por

Cristian Amílcar Raymundo Sacsara

 [0009-0005-2551-0861](https://orcid.org/0009-0005-2551-0861)

Asesor

M.Sc. José Antonio Corimanya Mauricio

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

LIMA – PERÚ

2025

Citar/How to cite	Raymundo Sacsara [1]
Referencia/Reference	[1] C. Raymundo Sacsara, “ <i>Evaluación del sistema de ventilación e incremento del caudal para mejorar la cobertura de aire en minas subterráneas de oro de vetas angostas</i> ” [Trabajo de suficiencia profesional de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2025.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

Citar/How to cite	(Raymundo, 2025)
Referencia/Reference	Raymundo, C. (2025). <i>Evaluación del sistema de ventilación e incremento del caudal para mejorar la cobertura de aire en minas subterráneas de oro de vetas angostas</i> . [Trabajo de suficiencia profesional de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

*A Dios por las oportunidades que me brinda y a mis padres,
Antonio Raymundo Arroyo y Nelly M. Sacsara Cancho por
siempre estar conmigo y por la confianza depositada en mí.*

Agradecimientos

Quiero agradecer a Minera Aurífera Retamas, por brindarme la oportunidad de haber laborado y volcar todo mi conocimiento profesional.

Resumen

El presente trabajo de investigación, tiene como objetivo la evaluación proyectada del sistema de ventilación para el diseño de tres Etapas: Corto plazo (01 año 2020), mediano plazo (02 años 2021 - 22) y largo plazo (05 años 2023 - 27); habiéndose validado el modelado topográfico en 3D al 100% con los responsables de mina y definiéndose los ejes principales del circuito de ventilación, tanto de ingresos y salidas de aire.

El levantamiento de ventilación mapeó los flujos de aire en 28 niveles operativos mediante mediciones realizadas del 20 de noviembre al 5 de diciembre de 2019. Se evaluaron 11 estaciones principales (6 de ingreso de aire fresco y 5 de salida de aire viciado), procesando un total de 301 estaciones en Ventsim Design™ 5.2.

La ventilación de la Unidad Minera “San Andrés” es por extracción forzada mediante cinco ventiladores axiales de álabes variables: dos de 110,000 cfm y tres de 150,000 cfm, generando una salida total de aire viciado de 586,216 cfm. Además, cuenta con ventiladores auxiliares que inyectan aire a los frentes de exploración, desarrollos y labores de producción.

El cálculo del caudal proyectado para la mina se basó en el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional (D.S. 024-2016-EM y D.S. 023-2017-EM), considerando el requerimiento de aire por personal, equipos, temperatura y fugas. Se determinó un total de 1'084,936 cfm, con una cobertura del 53.54% y un déficit de 504,048 cfm.

Como resultado del trabajo tenemos que el CAPEX total es de US\$ 46,165,076 para una inversión en 7 años y una vida útil de 10 años, distribuido en: corto plazo (US\$ 6,344,467 - 13.7%), mediano plazo (US\$ 26,610,239 - 57.6%) y largo plazo (US\$ 13,210,370 - 28.6%). El costo anual de energía aumentará ligeramente de US\$ 1'811,791 a US\$ 1'817,178, mientras que el caudal de aire crecerá un 104%, de 580,888 cfm a 1'169,022 cfm, con un superávit de 39,547 cfm. Además, el KPI se reducirá de 3.12 US\$/cfm a 1.55 US\$/cfm.

Palabras claves — Ventilación, evaluación, simulación, CAPEX, OPEX.

Abstract

The present research aims at the projected optimization of the ventilation system for the design of three stages: short-term (one year, 2020), medium-term (two years, 2021-22), and long-term (five years, 2023-27). The 3D topographic modeling was validated 100% with the mine managers, defining the main axes of the ventilation circuit for both air intake and exhaust.

The ventilation survey mapped the airflow in 28 operational levels through measurements conducted from November 20 to December 5, 2019. Eleven main stations were evaluated (six for fresh air intake and five for contaminated air exhaust), processing a total of 301 stations in Ventsim Design™ 5.2.

The ventilation system of the "San Andrés" Mining Unit operates through forced extraction using five axial fans with variable blades: two with a nominal capacity of 110,000 cfm and three with 150,000 cfm, generating a total exhaust airflow of 586,216 cfm. Additionally, auxiliary fans inject air into exploration fronts, developments, and production areas.

The projected airflow calculation for the mine was based on the Occupational Health and Safety Regulation (D.S. 024-2016-EM and D.S. 023-2017-EM), considering air requirements for personnel, equipment, temperature, and leakage. A total required airflow of 1,084,936 cfm was determined, covering 53.54% of the demand, with a deficit of 504,048 cfm.

As a result of the study, the total CAPEX amounts to US\$ 46,165,076 for an investment over seven years and a lifespan of ten years, distributed as follows: short-term (US\$ 6,344,467 - 13.7%), medium-term (US\$ 26,610,239 - 57.6%), and long-term (US\$ 13,210,370 - 28.6%). The annual energy cost will slightly increase from US\$ 1,811,791 to US\$ 1,817,178, while the airflow will grow by 104%, from 580,888 cfm to 1,169,022 cfm, achieving a surplus of 39,547 cfm. Additionally, the KPI will be reduced from 3.12 US\$/cfm to 1.55 US\$/cfm.

Keywords — Ventilation, evaluation, simulation, CAPEX, OPEX.

Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen	v
Abstract	vi
Introducción	xiv
Capítulo I. Parte introductoria del trabajo	1
1.1 Generalidades	1
1.2 Descripción del problema de investigación	1
1.3 Formulación del problema	2
1.4 Objetivo	2
1.5 Hipótesis.....	2
1.6 Operacionalización de variables	2
1.6.1 Variable independiente (V.I)	2
1.6.2 Variable dependiente (V.D).....	2
1.7 Antecedentes referenciales	3
1.7.1 Antecedentes nacionales.....	3
1.7.2 Antecedentes internacionales.....	4
Capítulo II. Marcos teórico y conceptual	7
2.1 Marco teórico.....	7
2.1.1 Ventilación natural	7
2.1.2 Ventilación principal.....	7
2.1.3 Ventilación mecánica.....	7
2.1.4 Ventilación auxiliar.....	8
2.1.5 Pérdida de carga	10
2.1.6 Ventiladores eléctricos.....	13
2.2 Marco conceptual	21
Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación	23
3.1 Unidad de estudio.....	23

3.1.1 Ubicación y accesibilidad.....	23
3.1.2 Geología.....	24
3.1.3 Geología económica.....	27
3.1.4 Recursos minerales	28
3.1.5 Geomecánica	28
3.1.6 Producción Mina	29
3.2 Levantamiento de ventilación.....	32
3.2.1 Equipos e instrumentos de medición	32
3.2.2 Metodología de trabajo	33
3.2.3 Medición de estaciones de ventilación.....	33
3.2.4 Estaciones principales – ingresos de aire	33
3.2.5 Estaciones Principales – Salidas de Aire	34
3.2.6 Estaciones secundarias.....	35
3.3 Sistema actual de ventilación.....	35
3.3.1 Balance y cobertura de aire global.....	35
3.3.2 Inventario de ventiladores.....	35
3.3.3 Costo de energía global.....	36
3.3.4 Caída de presión por eje.....	38
3.3.5 Distribución de ductos de ventilación por zonas	39
3.4 Modelo 3D del sistema actual de ventilación	40
3.4.1 Configuración y entrada de parámetros de simulación	41
3.4.2 Modelamiento y caracterización topográfica	41
3.4.3 Caracterización de ventiladores.....	41
3.4.4 Calibración del modelo	44
3.4.5 Simulación de flujo de aire	46
3.5 Cálculo de requerimiento de aire global proyectado	48
3.5.1 Cálculo de requerimiento de aire XC 3410 (XC 10107-S)	48
3.6 Alternativas de diseño a corto, mediano y largo plazo	50

3.6.1 Proyecto 1: Eje RC 12 (Inyección hasta 180 kcfm)	50
3.6.2 Proyecto 2: Eje RC 10 (Extracción hasta 150 kcfm).....	51
3.6.3 Proyecto 3: Eje RC 43 (Extracción hasta 140 kcfm).....	52
3.6.4 Proyecto 4: Eje RC 46 (Extracción hasta 300 kcfm).....	53
3.6.5 Proyecto 5: Eje RC 32 (Extracción hasta 240 kcfm).....	54
3.6.6 Proyecto 6: Eje RC 47 (Inyección hasta 200 kcfm)	55
3.6.7 Proyecto 7: RC 48 (Inyectar aire fresco hasta 200 kcfm)	57
3.6.8 Sección óptima de los ejes de ventilación.....	57
Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados	70
4.1 Análisis económico CAPEX y OPEX de los proyectos	70
4.2 Resumen de entradas y salidas de aire	73
4.3 Cobertura de aire por zonas	76
4.4 Indicadores y KPI de ventilación por etapas	78
4.5 Especificaciones técnicas de los ventiladores propuestos	79
4.6 Ruta crítica de los proyectos planteados	81
4.7 Validación de hipótesis	83
Conclusiones	85
Recomendaciones	87
Referencias bibliográficas	88
Anexos	89

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 : Matriz de consistencia.....	3
Tabla 2 : Accesibilidad a Minera Aurífera Retamas.....	24
Tabla 3 : Reservas probadas y probables total	28
Tabla 4 : Ingreso de aire actual, medición de campo	34
Tabla 5 : Salida de aire actual, medición de campo	34
Tabla 6 : Balance de aire y cobertura - Mina Marsa	35
Tabla 7 : Cantidad de ventiladores por zona	35
Tabla 8 : Costo de energía por eje.....	36
Tabla 9 : Costo de energía por zonas	37
Tabla 10: Descripción de ejes principales de salida de aire	38
Tabla 11: Caída de presión por eje principal.....	38
Tabla 12: Longitud total de mangas por zonas	39
Tabla 13: Longitud total de mangas en relación al diámetro por zonas.....	39
Tabla 14: Resumen de la red actual	46
Tabla 15: Resumen de potencia	47
Tabla 16: Requerimiento de aire proyectado	48
Tabla 17: Requerimiento total de aire, XC 10107-S	49
Tabla 18: Detalle de requerimiento de aire por equipos Diesel, XC 10107-S	49
Tabla 19: Cálculo para la sección de 2.9 x 2.9 m	58
Tabla 20: Cálculo para la sección de 4.1 x 4.1 m	59
Tabla 21: Cálculo para la sección de 3.5 x 3.5 m	60
Tabla 22: Sección óptima de 2.4 x 2.4 m, Eje RC 12	61
Tabla 23: Sección óptima de 2.4 x 2.4 m, Eje RC 10	62
Tabla 24: Sección óptima de 2.9 x 2.9 m, Eje RC 46	63
Tabla 25: Sección óptima vs. CAPEX, Eje RC 46	64
Tabla 26: Sección óptima Eje RC 32	66

Tabla 27: Sección óptima vs. CAPEX, Eje RC 32	67
Tabla 28: Sección óptima de 2.4 x 2.4 m vs 2.9 x 2.9 m, Eje RC 43	69
Tabla 29: Costo de inversión a corto plazo (2020)	70
Tabla 30: Costo de inversión a mediano plazo (2021 – 2022)	71
Tabla 31: Costo de inversión a largo plazo (2023 – 2027).....	72
Tabla 32: Resumen de ingresos de aire por etapas	74
Tabla 33: Resumen de salidas de aire por etapas.....	75
Tabla 34: Balance y cobertura de aire zonificado por Etapas (2020 – 2023).....	77
Tabla 35: Análisis de ventilación principal por etapas	78
Tabla 36: Costo de inversión y especificaciones técnicas de los ventiladores	80
Tabla 37: Resumen de cobertura de aire por zonas	83

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 : Ventilación por impulso	9
Figura 2 : Ventilación por extracción	9
Figura 3 : Ventilación por impulso con apoyo por extracción.....	10
Figura 4 : Ventilador centrifugo	14
Figura 5 : Ventilador axial	15
Figura 6 : Curva característica de un ventilador de mina	16
Figura 7 : Curva característica de ventiladores en serie.....	17
Figura 8 : Curva característica de ventiladores en paralelo.....	18
Figura 9 : Ubicación geográfica de la U.E.A. Retamas S.A.	23
Figura 10: Plano geológico regional.....	25
Figura 11: Plano geológico local	26
Figura 12: Plano geológico estructural.....	27
Figura 13: Plano de zonificación longitudinal global – U.M. “San Andrés”	29
Figura 14: Vista transversal método de explotación por corte y relleno ascendente	30
Figura 15: Método de explotación por corte y relleno ascendente.....	30
Figura 16: Vista transversal Método de explotación por Long Wall	31
Figura 17: Método de explotación por Long Wall con puntales	31
Figura 18: Cantidad de ventiladores por zona	36
Figura 19: Costo de energía por eje.....	37
Figura 20: Costo de energía por eje.....	38
Figura 21: Cantidad de ventiladores por zona	40
Figura 22: Longitud total de mangas en relación al diámetro por zonas.....	40
Figura 23: Parámetros termo-ambientales – Mina MARSA	41
Figura 24: Vista en planta del modelo 3D – U.M. “San Andrés”	42
Figura 25: Vista longitudinal modelo 3D - U.M. "San Andrés"	42
Figura 26: Curvas características de ventiladores principales y secundario	43

Figura 27: Convergencia de entradas de aire	44
Figura 28: Convergencia de salidas de aire	45
Figura 29: Convergencia de estaciones secundarias, zona chilcas.....	45
Figura 30: Convergencia de estaciones secundarias, zona Valeria	46
Figura 31: Curva de la resistencia de la mina.....	47
Figura 32: Distribución global de requerimiento de aire proyectado	48
Figura 33: Proyección Eje RC 12	51
Figura 34: Sistema de ventilación RC 10 (NV 2420 - 1820)	52
Figura 35: Proyección Eje RC 43 (NV 2245 - 2070)	53
Figura 36: Trazo Eje RC 46 (NV 3410 - 2520)	54
Figura 37: Trazo Eje RC 32 (NV 3280 - 2320)	55
Figura 38: Trazo Eje RC 47 (NV 3175 - 1820)	56
Figura 39: Trazo Eje RC 48 (NV 3125 - 2520)	57
Figura 40: Análisis sección óptima RC 46.....	64
Figura 41: Sección óptima vs CAPEX y OPEX, Eje RC 46.....	65
Figura 42: Análisis sección óptima RC 32.....	67
Figura 43: Sección óptima vs CAPEX y OPEX, Eje RC 32.....	68
Figura 44: KPI de ventilación (US\$/cfm).....	78
Figura 45: Ruta crítica de los proyectos de ventilación	82
Figura 46: Prueba de Wilcoxon por pares analizados	84

Introducción

Este trabajo de suficiencia fue elaborado con información recolectada de la Minera Aurífera Retamas S.A., con el soporte del software Ventsim™ Design 5.2, con el cual se permitió conocer de manera integral el sistema de Ventilación de la Mina “San Andrés”; teniendo como base el sistema actual de ventilación de la mina, que consistió en los trabajos realizados en campo y gabinete; durante los meses de Nov. a Dic., del año 2019, desarrollándose de manera exitosa y se continuó el presente estudio; para luego continuar con la simulación de proyectos a corto, mediano y largo plazo, que consistió en modelar todo el sistema de ventilación a detalle, durante los meses Enero a Mayo 2020, cuya culminación igualmente fue satisfactoria para la mina. En esta fase, se procesó toda la información en el software Ventsim™, paralelamente se definieron los ejes principales de ventilación; lográndose un grado de confiabilidad en la simulación de los diferentes escenarios, con una calibración del modelo en un 90%. Cabe señalar que durante la Fase de simulación de proyectos, se pudieron identificar circuitos antiguos, que se tuvieron que ingresar a las zonas accesibles y tomar data de campo, complementando con las evidencias de los operadores de mina, que conocen los circuitos actuales y los que ya están en desuso.

Las conclusiones y recomendaciones que se exponen al final del trabajo, son el resultado de los análisis que se obtuvieron, durante las jornadas de conciliación y validación de la data, y los resultados que arrojó el software Ventsim™, alimentándose los planes de minado, y sus proyecciones del año 2020 al 2030. Habiéndose diferenciado por Etapas: Corto plazo (2020), Mediano Plazo (02 años 2021 - 2022) y Largo Plazo (05 años 2023 - 2027).

Capítulo I. Parte introductoria del trabajo

1.1 Generalidades

Minera Aurífera Retamas S.A. (MARSA), con el propósito de profundizar la mina requería una evaluación de ventilación, lo que conlleva al modelamiento del sistema de ventilación de la mina de la U.M. “San Andrés”, cuyo objetivo se centra en garantizar la cobertura del caudal volumétrico del aire fresco, necesario para los diferentes procesos del minado, optimizar el consumo energético por el uso de ventiladores; mediante planes estratégicos a corto, mediano y largo plazo, con el soporte del software Ventsim Design™ 5.2, en cumplimiento la normativa actual del estado peruano y las políticas internas de MARSA.

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en la provincia de Pataz, departamento de La Libertad a una altitud de 3200 msnm; comprendiendo: La evaluación proyectada del sistema de ventilación para el diseño de tres Etapas: Corto plazo (01 año 2020), mediano plazo (02 años 2021 - 22) y largo plazo (05 años 2023 - 27); habiéndose validado el modelado topográfico en 3D al 100% con los responsables de mina.

1.2 Descripción del problema de investigación

En minas subterráneas auríferas de vetas angostas a medida que las exploraciones, y desarrollo profundizan, el sistema de ventilación es deficiente, debido a la presencia de gases generado por la voladura, los equipos a motor diésel y la descomposición de la madera empleado para el sostenimiento de los avances y explotación. Genera un déficit en la cobertura del requerimiento general de aire (balance de oxígeno del sistema de ventilación).

El déficit de la cobertura en el sistema de ventilación en una mina subterránea limita la flota de equipos a combustión diésel (balance de aire según lo estipulado detalladamente en el oxígeno en el sistema de ventilación), debido al requerimiento de caudal por equipo, restringiendo los metros de avance en la exploración y desarrollo de la mina.

La falta de ventilación en las labores mineras produce que la madera usada en el sostenimiento se humedezca y luego se descomponga, esto es debido a la concentración de la humedad y gases no son diluidas por la inyección de aire fresco en las labores, el cual genera una condición subestándar para el trabajador y conlleva a un sobre costo a la empresa minera en la refortificación de la labor.

Los trabajadores de interior mina deben contar con un ambiente climatizado. La falta de aire limpio en los frentes de trabajo restringe los equipos a motor diésel,

Las estaciones de ventilación monitoreadas, gran parte presentan velocidades debajo de 25m/min, es por ello se realizan estudios integrales del sistema de ventilación.

1.3 Formulación del problema

¿Cuáles son las causas en la disminución de la productividad de producción de finos de oro por el descenso del caudal de aire en el sistema de ventilación en minas subterráneas?

1.4 Objetivo

Evaluar las condiciones del sistema de ventilación actual en la Unidad Minera, como lineamiento base para el modelamiento en las alternativas de diseño.

1.5 Hipótesis

El análisis del sistema de ventilación, permitirá incrementar la exploración, desarrollo y la productividad de la producción de finos de oro en minas subterráneas.

1.6 Operacionalización de variables

1.6.1 Variable independiente (V.I)

- X: Análisis del caudal de aire.
 - Presión (Kpa)
 - Temperatura (°C)
 - Flujo (cfm)

1.6.2 Variable dependiente (V.D)

- Y: Cobertura de aire en el sistema de ventilación.

- Límites Permisibles de Gases (ppm CO, % O₂, ppm SO₂, ppm NO₂, ppm LEL ppm).

Tabla 1

Matriz de consistencia

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLE	INDICADORES
¿Cuáles son las causas en la disminución de la productividad de producción de finos de oro por el descenso del caudal de aire en el sistema de ventilación en minas subterráneas?	Evaluar las condiciones del sistema de ventilación actual en la Unidad Minera, como lineamiento base para el modelamiento en las alternativas de diseño.	El análisis del sistema de ventilación, permitirá incrementar la exploración, desarrollo y la productividad de la producción de finos de oro en minas subterráneas.	X: Independiente / Causa	Presión (Kpa)
			Análisis del caudal de aire	Temperatura (°C)
				Flujo (cfm)
			Y: Dependiente / Efecto	Límites Permisibles de Gases (ppm CO, % O ₂ , ppm SO ₂ , ppm NO ₂ , ppm LEL ppm).
			Cobertura de aire en el sistema de ventilación	

Fuente: Elaboración propia

1.7 Antecedentes referenciales

A continuación, se presentan los antecedentes relacionados con esta investigación, los cuales, dada su importancia científica en el campo de la evaluación de sistemas de ventilación en minas subterráneas, constituyen una contribución teórica y documental esencial para este estudio.

1.7.1 Antecedentes nacionales

Caxi. Y. (2017) en la tesis titulada “Estudio de ventilación e implementación de mejoras en el circuito de ventilación de Minera Sotrami S.A. – UEA Santa Filomena – aplicando el Software Ventsim” concluye que al realizar un estudio de ventilación en la Unidad Minera Santa Filomena mediante el mapeo y simulación con el software Ventsim 3.9, identificando circuitos de flujo de aire fresco y aire viciado. En la veta Santa Filomena, la ventilación natural aporta 942.40 m³/min, con un superávit de 126.49 m³/min, mientras que en la veta Santa Rosa el ingreso es de 813.96 m³/min, con un superávit de 569.70 m³/min. Para optimizar el sistema, se desarrolló una chimenea de ventilación y se instalaron mangas paralelas en el Crucero 2170, demostrando mayor eficiencia. La investigación, de tipo aplicada y nivel exploratorio-descriptivo, servirá como base para futuros proyectos de

mejora, destacando la necesidad de nuevas chimeneas de ventilación para evitar problemas en el futuro.

Mallma, B. (2023) en la tesis titulada “Implementación del software Ventsim para optimizar el sistema de ventilación en el nivel Caira 4 de la mina Huinac Huaraz - 2023” afirma que estudio tiene como objetivo implementar el software Ventsim para optimizar el sistema de ventilación en el nivel Caira 4 de la mina Huinac Huaraz en 2023. Se centra en el diseño de un nuevo circuito de ventilación para mejorar la eficiencia en una mina subterránea con 2 km de profundidad. La investigación determina el flujo de aire necesario, el diseño del circuito y la selección de ventiladores y mangas de ventilación. Se analizaron variables como el flujo de aire, la potencia del ventilador, la velocidad y la temperatura, obteniendo resultados que cumplen con la normativa D.S. 024-2016-EM. Se concluye que la aplicación de Ventsim optimiza el circuito de ventilación, mejorando su eficiencia y asegurando un ambiente adecuado.

Quispe, E. (2022) en la tesis titulada “Diseño del circuito de ventilación mediante el Software Ventsim en Compañía Minera Kolpa S.A. - Unidad Minera - Huachocolpa Uno” concluye que utilizando el software Ventsim, permite simular el estado actual y proponer mejoras en la circulación del aire para optimizar las condiciones de trabajo subterráneas. Para ello, se aplicó el método científico junto con un enfoque inductivo-deductivo, estableciendo estaciones principales y secundarias para la calibración del modelo. Se determinó que la mina recibe 375,132 cfm de aire fresco y expulsa 398,273 cfm de aire viciado, distribuidos a través de diversas vías de ingreso y escape. Además, se analizaron 195 estaciones secundarias en los 10 niveles de la mina, validando que el modelo generado representa con precisión el comportamiento del flujo de aire en cuanto a dirección y cantidad.

1.7.2 Antecedentes internacionales

Bustamante, M. et al (2017) en el artículo de investigación titulado “Simulación en el software VENTSIM™ de la influencia de la implementación de sellamientos en labores abandonadas en la ventilación de una mina subterránea de carbón” concluye que en

algunas minas de la cuenca carbonífera de Sinifaná, la falta de control en los sellamientos permite que el aire circule por zonas innecesarias, afectando la ventilación en los frentes de explotación y deteriorando las condiciones laborales. Además, esto genera pérdidas económicas al ventilar áreas abandonadas. Este estudio analiza la influencia de los sellamientos en la resistencia de la mina y el flujo de aire, buscando optimizar la ventilación. Se determinó que con pared de lona y puerta agujereada el caudal alcanza 0,2 m³/s, mientras que, con un buen sello, buena puerta y sello pobre, llega a 0,3 m³/s.

Morales, N. (2023) en la tesis titulada “Propuesta de sistema de ventilación para Mina Chépica minera Paicaví, Penciahue Chile” afirma que a medida que los yacimientos mineros superficiales se vuelven más escasos, muchas explotaciones, como Chuquicamata, han debido adaptarse a la minería subterránea, lo que demanda tecnologías avanzadas para garantizar condiciones seguras de trabajo, especialmente en términos de ventilación. Una mala ventilación no solo afecta el rendimiento de los equipos, sino que también representa riesgos para la salud de los trabajadores. En este contexto, la investigación evalúa el sistema de ventilación de la Mina Chépica Central, ubicada en Penciahue, Región del Maule, proponiendo mejoras mediante software como AutoCAD y Ventsim. Actualmente, la ventilación en la mina es deficiente, con una cobertura de solo 7.3% respecto a lo requerido, mientras que los sistemas propuestos lograrían una cobertura superior al 107%, asegurando el caudal adecuado. Las mejoras incluyen la instalación de reguladores pasivos y activos para optimizar el flujo de aire y mangas de ventilación para los frentes de trabajo ciegos. Finalmente, se presentan recomendaciones basadas en la evaluación y condiciones actuales de la mina.

Sanhueza, E. (2020) en la tesis titulada “Proyecto de diseño técnico y económico de sistema de ventilación de Mina Trinidad, Lebu” concluye que una ventilación adecuada es esencial para diluir rápidamente el gas metano, que representa un alto riesgo por su inflamabilidad. Una mala ventilación en minas subterráneas no solo afecta el funcionamiento de los equipos, sino que también genera enfermedades laborales. Para evaluar las condiciones de ventilación, es crucial medir el flujo de aire y la caída de presión,

además de cumplir con las normativas establecidas por los decretos supremos 594 y 132. En la Mina Trinidad, el caudal de aire actual es de 30,42 m³/seg, muy inferior a los 400 m³/seg requeridos por la ley. Esto compromete la seguridad de los trabajadores, quienes necesitan ventilación para la dilución de gases, regulación de temperatura y producción. Además, el uso del compresor como sistema principal de ventilación genera emisiones de aceite de motor, lo que agrava los riesgos para la salud. Por ello, se recomienda sustituirlo por un ventilador mecánico, mejorando así la calidad del aire y la seguridad en la mina.

Capítulo II. Marcos teórico y conceptual

2.1 Marco teórico

2.1.1 Ventilación natural

Es un proceso que aprovecha las diferencias de temperatura y presión entre el interior y el exterior de la mina para generar un flujo de aire sin necesidad de equipos mecánicos. Este fenómeno se produce debido a la convección térmica, donde el aire caliente, menos denso, asciende y sale por las chimeneas o pozos de ventilación, mientras que el aire más frío y denso ingresa por otras entradas, creando un ciclo de renovación del aire. Este método es eficiente en minas con diferencias significativas de altitud y temperatura, aunque su efectividad puede variar según las condiciones geográficas y estacionales (Hartman et al, 2012).

2.1.2 Ventilación principal

Se refiere al sistema diseñado para asegurar un flujo adecuado de aire fresco en las labores subterráneas, con el fin de diluir y extraer gases tóxicos, polvo y otros contaminantes, además de controlar la temperatura y humedad. Este sistema es fundamental para garantizar condiciones seguras y saludables para los trabajadores, así como para prevenir explosiones o acumulación de gases inflamables. La ventilación principal suele incluir la instalación de ventiladores de gran capacidad y una red de ductos que distribuyen el aire desde la superficie hasta las áreas más profundas de la mina (Hartman et al, 2012).

2.1.3 Ventilación mecánica

es un sistema diseñado para garantizar la circulación controlada de aire en el interior de las explotaciones mineras, con el fin de diluir y extraer gases tóxicos, polvo y otros contaminantes, además de proporcionar un suministro adecuado de oxígeno para los trabajadores. Este sistema utiliza ventiladores y ductos para forzar el flujo de aire, optimizando las condiciones ambientales y asegurando la seguridad y salud del personal. La ventilación mecánica es esencial para mantener la calidad del aire en minas

subterráneas, especialmente en operaciones profundas o con altos niveles de emisiones contaminantes (Hartman et al, 2012).

2.1.4 Ventilación auxiliar

Se refiere al sistema complementario utilizado para asegurar un flujo adecuado de aire fresco en áreas específicas de una mina donde la ventilación principal no es suficiente. Este sistema se implementa mediante ductos y ventiladores portátiles o fijos que dirigen el aire hacia los frentes de trabajo, garantizando la dilución de gases tóxicos, polvo y calor, y proporcionando un ambiente seguro para los trabajadores.

2.1.4.1 Elementos de una instalación auxiliar. A continuación, se describen los principales elementos de un sistema de ventilación auxiliar en minas:

- **Ventiladores auxiliares**

Son el componente principal del sistema, encargados de mover el aire desde la superficie o desde áreas ventiladas hacia las zonas de trabajo.

- **Ductos de ventilación**

Transportan el aire desde el ventilador hasta las áreas que necesitan ventilación. Suelen ser de materiales resistentes como PVC, fibra de vidrio o lona reforzada, dependiendo de las condiciones de la mina.

- **Reguladores de flujo**

Controlan la cantidad de aire que circula por los ductos, permitiendo ajustar la ventilación según las necesidades específicas de cada área.

2.1.4.2 Tipos de sistema de ventilación auxiliar. Se conocen tres tipos de ventilación auxiliar:

- **Ventilación auxiliar por impulso (impelente)**

Funcionamiento: Un ventilador impulsa aire fresco desde la superficie o desde una galería principal hacia el frente de trabajo.

Características:

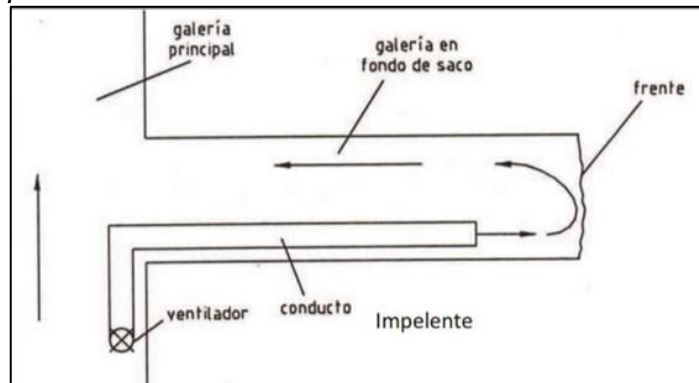
- El aire limpio es enviado directamente al área de trabajo.

- Es eficaz para diluir gases contaminantes y polvo.
- Puede generar turbulencias en el frente de trabajo.

Aplicaciones: Ideal para galerías cortas o frentes de trabajo con poca longitud.

Figura 1

Ventilación por impulso



Fuente: Instituto de ingenieros de Minas del Perú

▪ **Ventilación auxiliar por extracción (aspirante)**

Funcionamiento: Un ventilador extrae el aire contaminado del frente de trabajo y lo dirige hacia el sistema de ventilación principal o hacia el exterior.

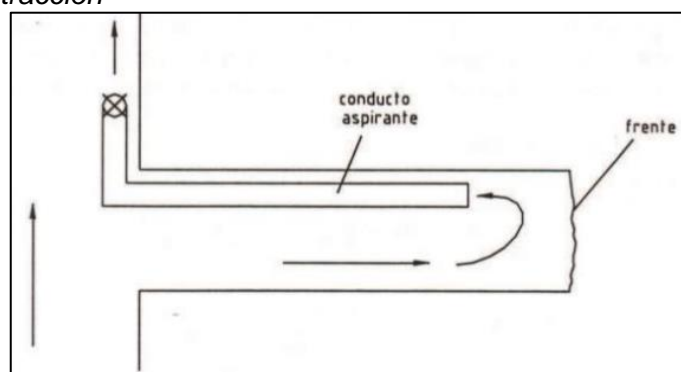
Características:

- Elimina eficazmente gases, polvo y humos del área de trabajo.
- Reduce la exposición de los trabajadores a contaminantes.
- Puede crear zonas de baja presión en el frente de trabajo.

Aplicaciones: Recomendado para frentes de trabajo largos o zonas con alta generación de contaminantes.

Figura 2

Ventilación por extracción



Fuente: Instituto de ingenieros de Minas del Perú

▪ Ventilación auxiliar mixta (combinada)

Funcionamiento: Combina los sistemas de impulso y extracción. Un ventilador impulsa aire fresco hacia el frente de trabajo, mientras que otro extrae el aire contaminado.

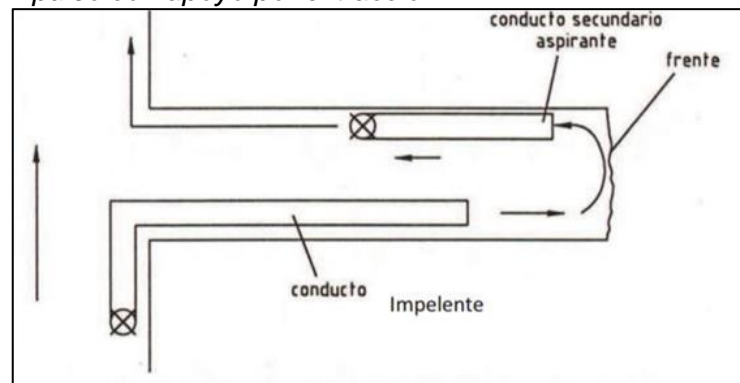
Características:

- Proporciona un control más eficiente del flujo de aire.
- Minimiza la dispersión de contaminantes en la galería.
- Requiere una coordinación precisa entre los ventiladores.

Aplicaciones: Utilizado en frentes de trabajo con alta concentración de contaminantes o en galerías largas y complejas.

Figura 3

Ventilación por impulso con apoyo por extracción



Fuente: Instituto de Ingenieros de Minas del Perú

2.1.5 Pérdida de carga

2.1.5.1 Pérdida por fricción. Es la resistencia que opone el aire al fluir a través de ductos, galerías o túneles debido a la rugosidad de las paredes y las características del flujo. Esta resistencia se traduce en una disminución de la presión del aire a lo largo del recorrido.

Factores que influyen en la pérdida de carga por fricción

▪ **Rugosidad de las paredes**

A mayor rugosidad, mayor será la pérdida de carga.

▪ **Velocidad del aire**

La pérdida de carga aumenta con el cuadrado de la velocidad.

- **Diámetro hidráulico**

A menor diámetro, mayor pérdida de carga.

- **Longitud del ducto o galería**

A mayor longitud, mayor pérdida de carga.

- **Densidad del aire**

Depende de la altitud y la temperatura.

La pérdida de carga por fricción (H_f) se calcula utilizando la fórmula de Darcy-

Weisbach:

$$H_f = \frac{f_x L \rho x V^2}{2D} \quad (1)$$

Donde:

H_f = Pérdida de carga por fricción (en Pascales, Pa).

F = Factor de fricción (adimensional), que depende de la rugosidad de las paredes y el número de Reynolds.

L = Longitud del ducto o galería (en metros, m).

D = Diámetro hidráulico del ducto o galería (en metros, m).

ρ = Densidad del aire (en kg/m³).

V = Velocidad del aire (en m/s).

2.1.5.2 Pérdida por choque. Ocurre cuando el flujo de aire cambia de dirección o velocidad abruptamente debido a obstáculos, cambios en la sección transversal de la galería, codos, bifurcaciones, rejillas u otros elementos que alteran el flujo laminar del aire. Estas pérdidas son un componente importante en el cálculo de la resistencia aerodinámica de la mina y afectan la eficiencia del sistema de ventilación.

Factores que influyen en la pérdida de carga por choque:

- **Geometría de la galería**

Cambios bruscos en la sección transversal (ensanchamientos o estrechamientos).

- **Obstáculos**

Presencia de equipos, pilares, o cualquier elemento que interrumpa el flujo de aire.

- **Cambios de dirección**

Codos, bifurcaciones o intersecciones en las galerías.

- **Velocidad del aire**

A mayor velocidad, mayores son las pérdidas por choque.

- **Rugosidad de las paredes**

Afecta la turbulencia del flujo de aire.

La pérdida de carga por choque (H_c) se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$H_c = \frac{KxV^2}{2g} \quad (2)$$

Donde:

H_c = Pérdida de carga por choque (en metros de columna de aire).

K = Coeficiente de pérdida por choque (adimensional), que depende de la geometría y obstáculos.

v = Velocidad del aire (en m/s).

g = Aceleración debido a la gravedad (9.81 m/s^2).

2.1.5.3 Pérdida por presión dinámica. Es un concepto importante para entender cómo se comporta el flujo de aire en los conductos y galerías. La presión dinámica es la energía asociada al movimiento del aire y está relacionada con la velocidad del flujo. La pérdida de carga se refiere a la disminución de la presión total del sistema debido a la fricción y otros factores.

La presión dinámica (P_d) se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$P_d = 0.5 \rho x v^2 \quad (3)$$

Donde:

P_d = Presión dinámica (en Pascales, Pa).

ρ = Densidad del aire (en kg/m^3 , aproximadamente 1.2 kg/m^3 en condiciones estándar).

v = Velocidad del aire (en m/s).

En algunos casos, la pérdida de carga también puede estar relacionada con la presión dinámica, especialmente en cambios de sección, codos, o accesorios en el sistema de ventilación. La pérdida de carga en estos elementos se expresa como:

$$H_{pd} = KxPd \quad (4)$$

Donde:

H_{pd} = Pérdida de carga debida a la presión dinámica (en Pascales o metros de columna de aire).

K = Coeficiente de pérdida localizada (adimensional, depende del tipo de accesorio o cambio de sección).

Pd = Presión dinámica (en Pascales).

2.1.6 Ventiladores eléctricos

Los ventiladores eléctricos en minas son equipos esenciales para garantizar la ventilación adecuada y la seguridad de los trabajadores, ya que permiten la circulación de aire fresco y la extracción de gases tóxicos o polvo acumulado. Estos sistemas son fundamentales para mantener condiciones atmosféricas seguras y cumplir con las normativas de salud ocupacional en entornos mineros. La eficiencia de los ventiladores eléctricos depende de su diseño, potencia y correcta instalación, factores que influyen directamente en la calidad del aire y la productividad de la operación minera (Hartman et al, 2012).

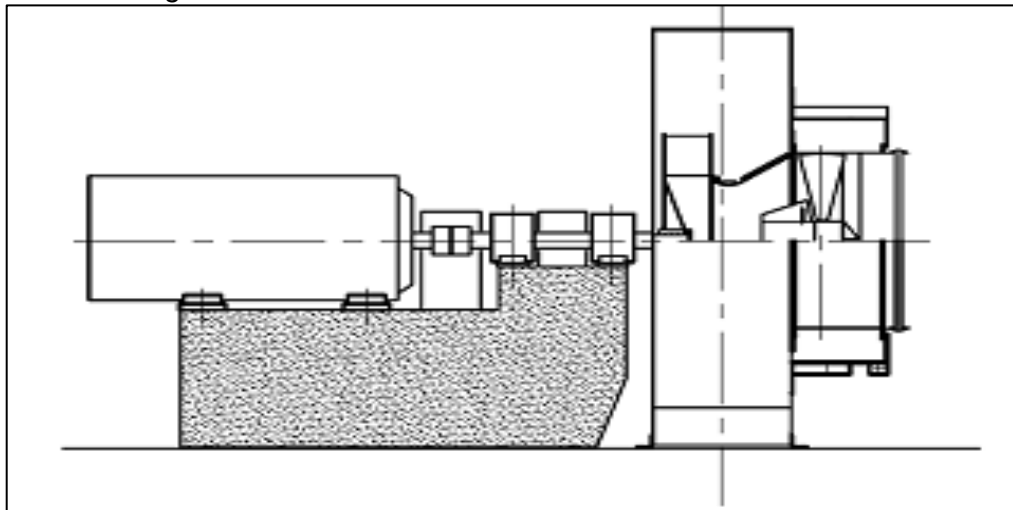
2.1.6.1 Clasificación de ventiladores. Se clasifican según el principio de funcionamiento en dos tipos; centrífugos y axiales.

2.1.6.1.1 Ventilador centrífugo. Es un equipo utilizado para la ventilación subterránea, asegurando la renovación del aire y la eliminación de contaminantes como polvo, gases tóxicos y calor.

Su funcionamiento se basa en la acción de una rueda con álabes que impulsa el aire mediante fuerza centrífuga, aumentando su presión y permitiendo su circulación a través de ductos o galerías.

Figura 4

Ventilador centrífugo



Fuente: Minera Aurífera Retamas

Características principales:

- **Alto rendimiento**

Mayor capacidad de presión en comparación con ventiladores axiales.

- **Direccionalidad del flujo**

Permite conducir el aire a largas distancias mediante ductos.

- **Mayor eficiencia en resistencias altas**

Ideal para minas profundas con extensos sistemas de ventilación.

- **Control de caudal y presión**

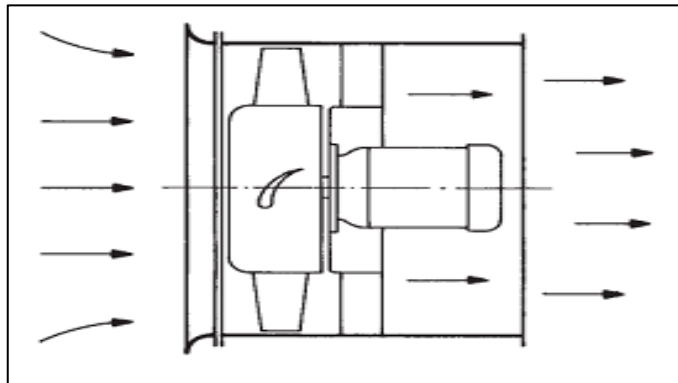
Mediante variadores de velocidad o álabes ajustables.

2.1.6.1.2 Ventilador axial. Es un equipo esencial para la ventilación en minería subterránea.

Su función principal es proporcionar el flujo de aire necesario para garantizar una atmósfera segura y saludable para los trabajadores, diluyendo y eliminando gases peligrosos, polvo y calor generado por la maquinaria y los procesos de extracción.

Figura 5

Ventilador axial



Fuente: Minera Aurífera Retamas

Características principales:

- **Diseño aerodinámico**

Las aspas están diseñadas para generar un flujo de aire eficiente con mínima resistencia.

- **Alta capacidad de caudal**

Pueden mover grandes volúmenes de aire a baja o media presión.

- **Eficiencia energética**

Consumen menos energía en comparación con otros tipos de ventiladores, como los centrífugos.

- **Ubicación estratégica**

Se instalan en bocaminas, chimeneas de ventilación o dentro de la red de túneles.

- **Materiales resistentes**

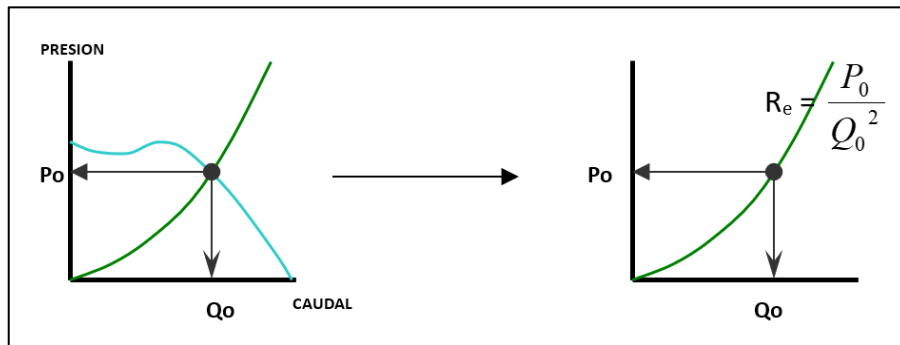
Fabricados con materiales resistentes a la corrosión y desgaste por polvo y humedad.

2.1.6.2 Curva característica de un ventilador: es una representación gráfica del rendimiento del ventilador en función de diferentes parámetros operativos. Generalmente, se representan varias curvas en un mismo gráfico, las más importantes son:

2.1.6.2.1 Curva de presión vs. caudal. Muestra la relación entre la presión generada por el ventilador (en Pascales o mmH₂O) y el caudal de aire (en m³/h o CFM). A medida que aumenta el caudal, la presión tiende a disminuir.

Figura 6

Curva característica de un ventilador de mina



Fuente: Minera Aurífera Retamas

2.1.6.2.2 Curva de potencia vs. caudal. Representa la potencia absorbida por el motor del ventilador en función del caudal. Suele aumentar con el caudal debido al incremento en la resistencia del aire.

2.1.6.2.3 Curva de eficiencia vs. caudal. Muestra la eficiencia del ventilador en función del caudal.

Generalmente tiene un punto máximo donde el ventilador opera con la mayor eficiencia.

Importancia de la Curva Característica:

- Permite seleccionar el ventilador adecuado para una aplicación específica.
- Facilita la evaluación del rendimiento en distintas condiciones de operación.
- Ayuda a determinar el punto de operación óptimo cuando se combina con la curva del sistema.

2.1.6.3 Acoplamiento de ventiladores. Se refiere a la combinación de dos o más ventiladores para trabajar juntos en un mismo sistema con el objetivo de mejorar el rendimiento, aumentar el caudal de aire o la presión generada.

Existen dos formas principales de acoplar ventiladores:

2.1.6.3.1 Acoplamiento en serie.

- **Objetivo**

Aumentar la presión total manteniendo el mismo caudal.

- **Cómo funciona**

Los ventiladores se colocan uno detrás de otro en el mismo conducto. El primer ventilador impulsa el aire hacia el segundo, que lo comprime aún más.

- **Curva característica**

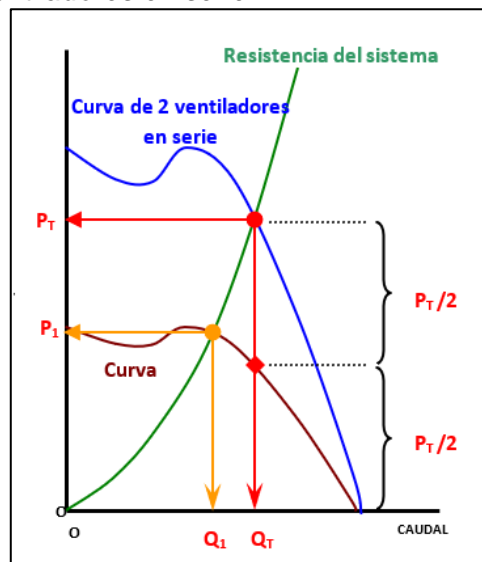
La presión se suma, pero el caudal permanece prácticamente igual.

- **Aplicaciones**

Se usa cuando se requiere alta presión, como en sistemas de ventilación con ductos largos o con muchas pérdidas de carga.

Figura 7

Curva característica de ventiladores en serie



Fuente: Minera Aurífera Retamas

2.1.6.3.2 Acoplamiento en paralelo.

- **Objetivo**

Aumentar el caudal total manteniendo la misma presión.

- **Cómo funciona**

Los ventiladores funcionan en paralelo, cada uno toma aire y lo impulsa hacia un conducto común.

- **Curva característica**

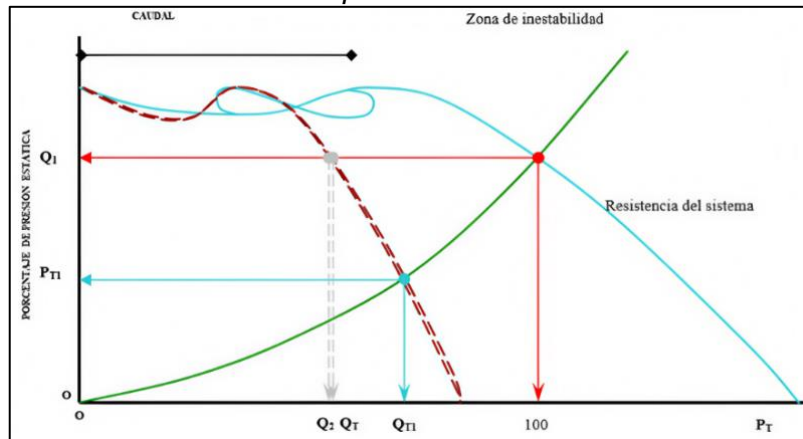
El caudal total es la suma del caudal de cada ventilador, pero la presión se mantiene prácticamente constante.

- **Aplicaciones**

Se usa cuando se requiere mayor caudal de aire, como en sistemas de ventilación industrial o grandes espacios.

Figura 8

Curva característica de ventiladores en paralelo



Fuente: Minera Aurífera Retamas

Consideraciones en el acoplamiento

- **Equilibrio de carga**

Los ventiladores deben tener características similares para evitar sobrecargas o ineficiencias.

- **Punto de operación**

Se debe analizar la curva del sistema para evitar que los ventiladores operen en zonas ineficientes.

- **Vibraciones y ruidos**

Un mal diseño de acoplamiento puede generar turbulencias y vibraciones excesivas.

2.1.6.4 Fenómeno de bombeo. (También conocido como surging en inglés), es una condición inestable de operación en la que el flujo de aire oscila de manera cíclica, provocando vibraciones, ruidos y pérdida de eficiencia.

Este fenómeno ocurre cuando el ventilador trabaja en una región de la curva característica donde la presión generada no puede sostener el flujo de aire de manera estable.

2.1.6.4.1 Causas del fenómeno de bombeo.

- **Funcionamiento en la zona inestable de la curva**

Ocurre cuando el ventilador opera con un caudal muy bajo y una alta presión, cerca del punto de "cierre" del ventilador. Pequeñas fluctuaciones en la demanda de aire pueden causar que el flujo de aire se revierta temporalmente.

- **Restricciones en el sistema de ventilación**

Conductos muy estrechos, válvulas cerradas o filtros sucios pueden generar una alta resistencia al flujo de aire, acercando el ventilador a la zona inestable.

- **Sobredimensionamiento del ventilador**

Un ventilador demasiado grande para el sistema puede operar en un punto ineficiente, favoreciendo la aparición del bombeo.

- **Acoplamiento inadecuado de ventiladores**

En configuraciones en serie o en paralelo, si los ventiladores no están bien equilibrados, pueden generar fluctuaciones en el flujo de aire.

2.1.6.4.2 Consecuencias del bombeo.

- Vibraciones excesivas que pueden dañar los rodamientos y otros componentes mecánicos.
- Ruidos anormales debido a la variación del flujo de aire.
- Reducción del rendimiento y aumento del consumo energético.
- Posibles daños estructurales en conductos y en el ventilador.

2.1.6.4.3 Cómo evitar el bombeo.

- Seleccionar correctamente el ventilador para que opere dentro de la zona estable de su curva característica.
- Diseñar un sistema de ventilación adecuado, evitando restricciones excesivas al flujo de aire.
- Utilizar válvulas de control o variadores de frecuencia (VFD) para ajustar la velocidad del ventilador y evitar trabajar en zonas inestables.

- Implementar cámaras de expansión o volúmenes de amortiguación para reducir fluctuaciones en el flujo.

2.1.6.5 Potencia eléctrica de consumo. Se refiere a la cantidad de energía eléctrica que el motor del ventilador toma de la red eléctrica para funcionar. Se expresa en vatios (W) o kilovatios (kW) y depende de varios factores, como la eficiencia del motor, la carga y las condiciones de operación.

Fórmulas para calcular la potencia eléctrica

2.1.6.5.1 Potencia eléctrica de entrada (P_e). Es la potencia consumida por el motor y se calcula como:

- Para sistemas monofásicos:

$$P_e = V \times I \times \cos(\theta) \quad (5)$$

Donde:

V = Voltaje en volts (V)

I = Corriente en amperios (A)

$\cos(\theta)$ = Factor de potencia (normalmente entre 0.7 y 0.95)

- Para sistemas trifásicos:

$$P_e = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos(\theta) \quad (6)$$

2.1.6.5.2 Potencia mecánica o útil (P_m): Es la potencia efectiva que el motor entrega al eje del ventilador. Se calcula con:

$$P_m = \frac{Q \times \Delta P}{\eta_f} \quad (7)$$

Donde:

Q = Caudal de aire (m³/s)

ΔP = Presión total generada (Pa)

η_f = Eficiencia del ventilador (valor entre 0 y 1)

2.1.6.5.3 Relación con la eficiencia del motor. El ventilador tiene pérdidas debido a la eficiencia del motor (η_m).

Por lo tanto:

$$Pe = \frac{Pm}{n_m} \quad (8)$$

Donde n_m es la eficiencia del motor, que varía entre 0.7 y 0.95 dependiendo del tipo y tamaño del motor.

Factores que afectan el consumo de energía:

- **Velocidad de operación**

Un aumento en la velocidad del ventilador incrementa la potencia requerida de manera proporcional al cubo de la velocidad.

- **Pérdidas en el sistema**

Un mal diseño de ductos o filtros sucios generan mayor resistencia y aumentan la potencia de consumo.

- **Eficiencia del motor y del ventilador**

Un motor con baja eficiencia desperdicia energía en forma de calor.

- **Método de control**

Un variador de frecuencia (VFD) puede reducir el consumo ajustando la velocidad del ventilador según la demanda.

2.2 Marco conceptual

- **Sistema de ventilación mina:**

Conjunto de sistemas y procesos que permiten la renovación del aire en una mina subterránea para garantizar condiciones seguras de trabajo.

- **Caudal de aire (Q):**

Volumen de aire que circula por la mina en un tiempo determinado (m^3/s o CFM).

- **Presión estática y presión dinámica:**

Parámetros fundamentales para el diseño de los sistemas de ventilación.

- **Pérdidas de carga:**

Reducción de la presión del aire debido a la fricción en ductos, rejillas y equipos.

- **Gases nocivos:**

Mezclas de gases peligrosos en el ambiente minero, como metano (CH_4), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2) y óxidos de azufre (SO_x).

- **Ley de continuidad del aire:**

Relación entre el caudal, velocidad y área de los ductos.

- **Eficiencia en la distribución del aire:**

Evaluación del recorrido del aire en la mina para minimizar pérdidas de carga.

Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación

3.1 Unidad de estudio

Unidad Minera Aurífera Retamas S.A. dedicada a la explotación y procesamiento de mineral oro, está localizada en la zona aurífera de Parcoy, está ligada a una faja de rocas intrusivas conocida como “Batolito de Pataz”, que cortan a los esquistos, filitas, pizarras y rocas Meta volcánicas del complejo Maraón.

3.1.1 Ubicación y accesibilidad

La mina MARSA se halla situado en el anexo de Llacuabamba, distrito de Parcoy, provincia de Pataz y departamento de La Libertad; emplazada en las vertientes del flanco Oriental de la Cuenca hidrográfica del Maraón, en el sector Norte de la Cordillera Central. Sus coordenadas geográficas son:

- Latitud Sur: 08°02'
- Longitud Oeste: 77°20'

Figura 9

Ubicación geográfica de la U.E.A. Retamas S.A.



Fuente: Minera Aurífera Retamas

Tabla 2*Accesibilidad a Minera Aurífera Retamas*

POR CARRETERA		
TRAMO	DISTANCIA	ESTADO
Lima - Trujillo	562 km	Asfaltado
Trujillo - Chugay	230 km	Asfaltado
Chugay - Chagual	111 km	Trocha carrozable
Chagual - Mina MARSA	70 km	Trocha carrozable
POR VIA AEREA		
TRAMO	TIEMPO	TIPO DE VUELO
Lima – Pías	70 minutos	Chárter
Trujillo – Pías	45 minutos	Comercial

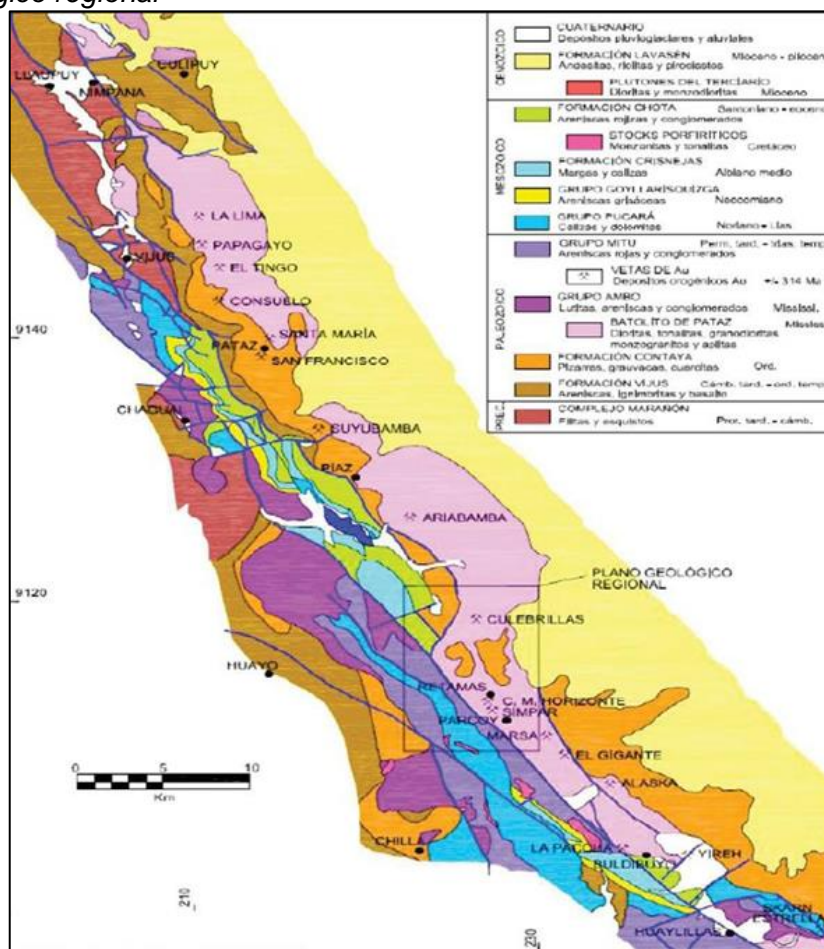
Fuente: Minera Aurífera Retamas

3.1.2 Geología

3.1.2.1 Geología regional. La zona Aurífera de Parcoy – Gigante Buldibuyo está ligada a una franja de rocas intrusivas conocidos como “Batolito de Pataz” que cortan a las filitas, pizarras y rocas Meta volcánicas del Complejo Marañón.

Figura 10

Plano geológico regional



Fuente: Minera Aurífera Retamas

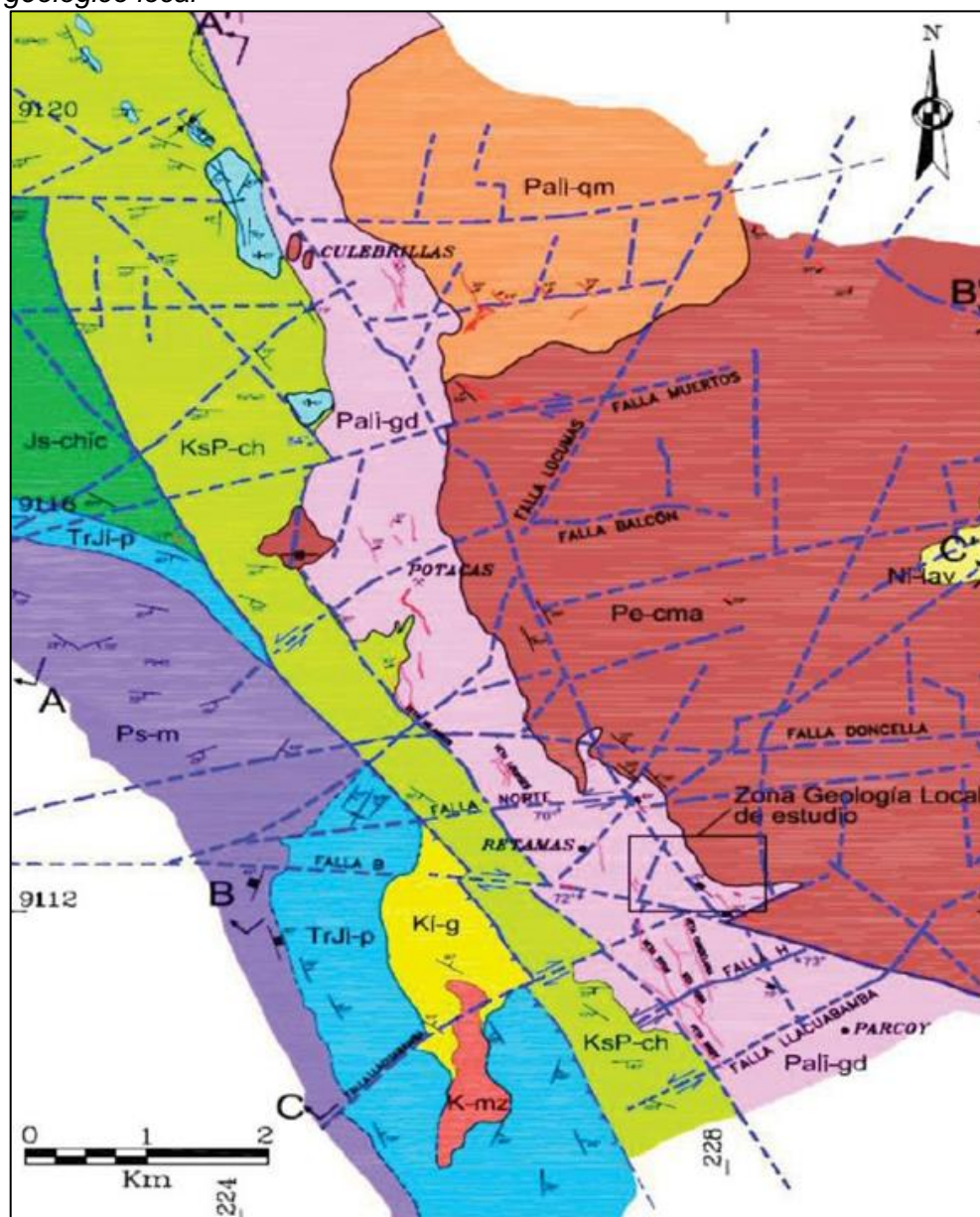
3.1.2.2 Geología local. El proyecto se encuentra emplazado en pórfido tonalíticas correspondiente al Batolito de Patate. Así mismo se presentan sistemas de discontinuidades medianos y menores en la zona de estudio.

Estos sistemas de discontinuidades han sido considerados en el análisis numérico correspondiente. La zona se halla mayormente cubierta por depósitos Cuaternarios; las rocas y estructuras mineralizadas se encuentran poco expuestas, a excepción de la veta “El Gigante” y “Esperanza” que afloran en el cerro el Gigante.

En la mina el Gigante, debajo de la cubierta Cuaternaria, se extiende el intrusivo de Patate, de naturaleza félsica a máfica, en este intrusivo se hospedan las vetas auríferas al NE, cerca del Maraón, y al SW del Tambo, las ocurrencias de areniscas — limolitas — volcánicos (capas rojas), pertenecen al grupo Mitú.

Figura 11

Plano geológico local



Fuente: Minera Aurífera Retamas

3.1.2.3 Geología estructural. El Batolito de Patate ha sido afectado por los diversos eventos tectónicos, estos eventos tectónicos representan el resultado de varios procesos orogénicos y magmáticos ocurridos durante el Paleozoico, Mesozoico y Cenozoico. Las diferentes estructuras que se presentan en el área de estudio indican que hubo varias etapas de tectonismo y levantamientos que se manifestaron mediante fallas pre- mineralización y post-mineralización.

3.1.3.1 Recursos y reservas. El yacimiento minero "El Gigante", está constituido por una variedad de minerales agrupados en "mena" y "ganga", que se presentan dentro de las estructuras mineralizadas en forma de lentes, parches, venas e hilos.

El principal mineral de mena es la pirita aurífera, que se presenta acompañada de arsenopirita, galena, marmatita-esfalerita, en proporciones menores.

También consideramos el cuarzo sacaroide como mineral de mena por hospedar oro libre. Acompañando al mineral de mena se presentan otros minerales en proporciones variables, ya sean metálicos o no metálicos, constituyendo éstos los minerales de ganga o impurezas, porque no son económicamente aprovechables.

Estos minerales son: cuarzo lechoso (primer estadio), calcita, caolín, calcopirita, etc. Entre las principales Vetas se tienen: Veta Daniela, Veta BB, Veta Cachaco y Cabana R-3.

3.1.4 Recursos minerales

La unidad Minera Aurífera Retamas SA - MARSA, ha sido dividida en las siguientes zonas: Chilcas (alto y bajo), Inclinaos, Valeria I, Valeria II, Valeria III y Valeria IV, delimitadas por los diferentes niveles en interior mina que van desde el Nivel 3410 al 2220.

Tabla 3

Reservas probadas y probables total

RESERVA	TMS	LEY (gr-Au/TMS)
PROBADA	1,381,702	11.85
PROBABLE	1,922,283	8.45

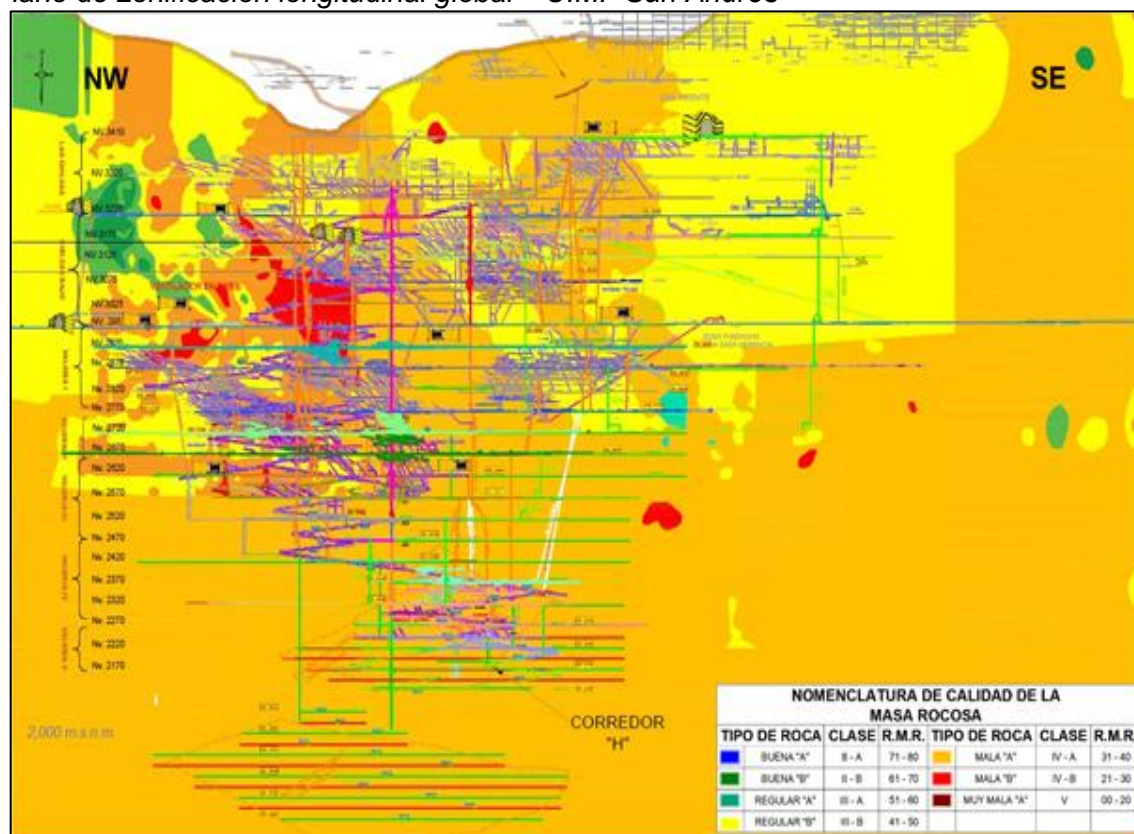
Fuente: Minera Aurífera Retamas

3.1.5 Geomecánica

Según el plano geomecánico, el tipo de roca predominante es regular "III-B" y mala "IV- A".

Figura 13

Plano de zonificación longitudinal global – U.M. “San Andrés”



Fuente: Minera Aurífera Retamas

3.1.6 Producción Mina

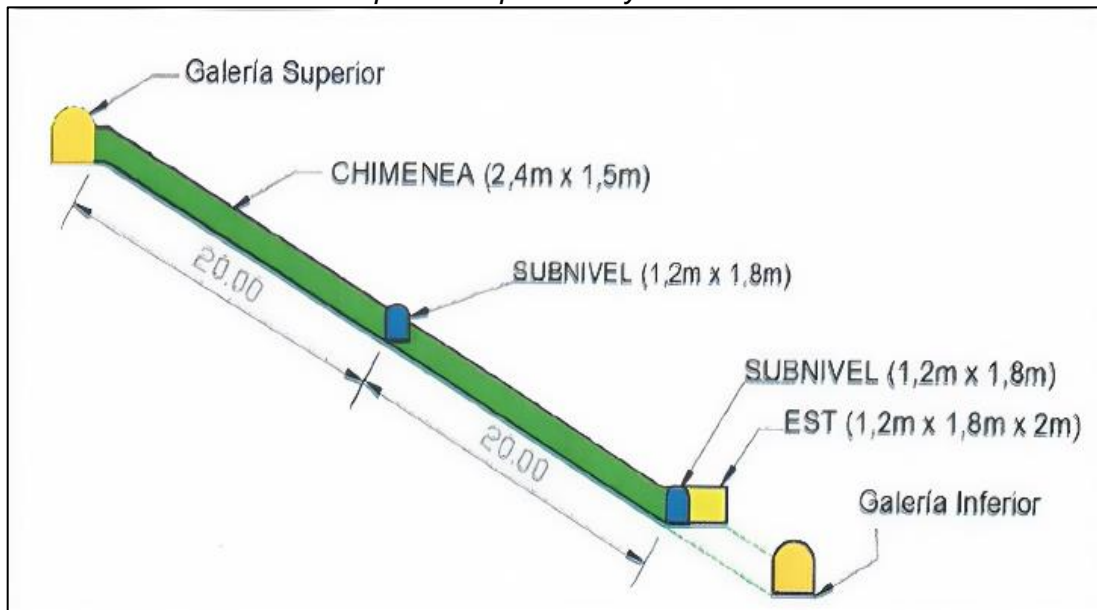
La mina produce 1200 TMSD, mineral proveniente de la explotación, preparación y desarrollo. Los principales métodos de explotación son, Corte y Relleno Ascendente y el Long Wall (convencional), en perforación se utiliza perforadoras tipo jackleg, y para la limpieza winches eléctricos de arrastre en las labores convencionales y scooptram en los tajos mecanizados, y para restablecer el macizo rocoso se usa el relleno hidráulico de alta densidad.

Para desarrollar las labores de exploración, preparación se utilizan jumbos de electrohidráulicos de un brazo, scoops desde 1.5 yd³ hasta 4.5 yd³ de capacidad y palas neumáticas de 10 pies³.

A continuación, se muestran los estándares y dimensiones de los blocks para la secuencia de minado aplicando los principales métodos de explotación.

Figura 14

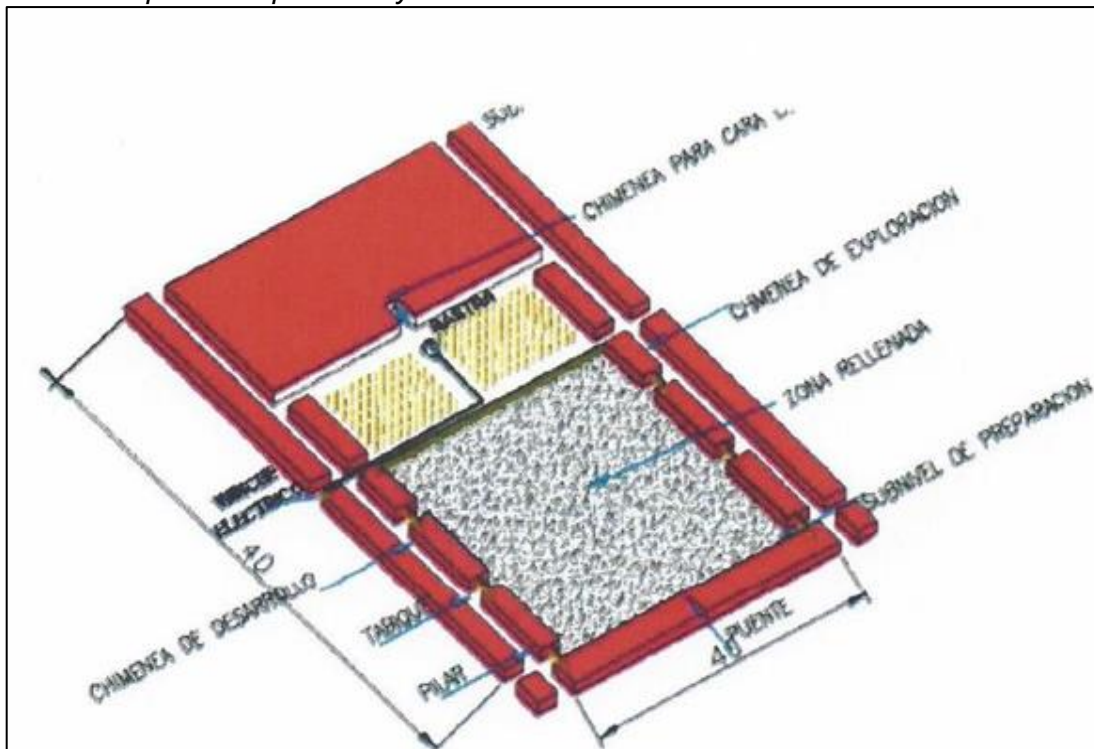
Vista transversal método de explotación por corte y relleno ascendente



Fuente: Minera Aurífera Retamas

Figura 15

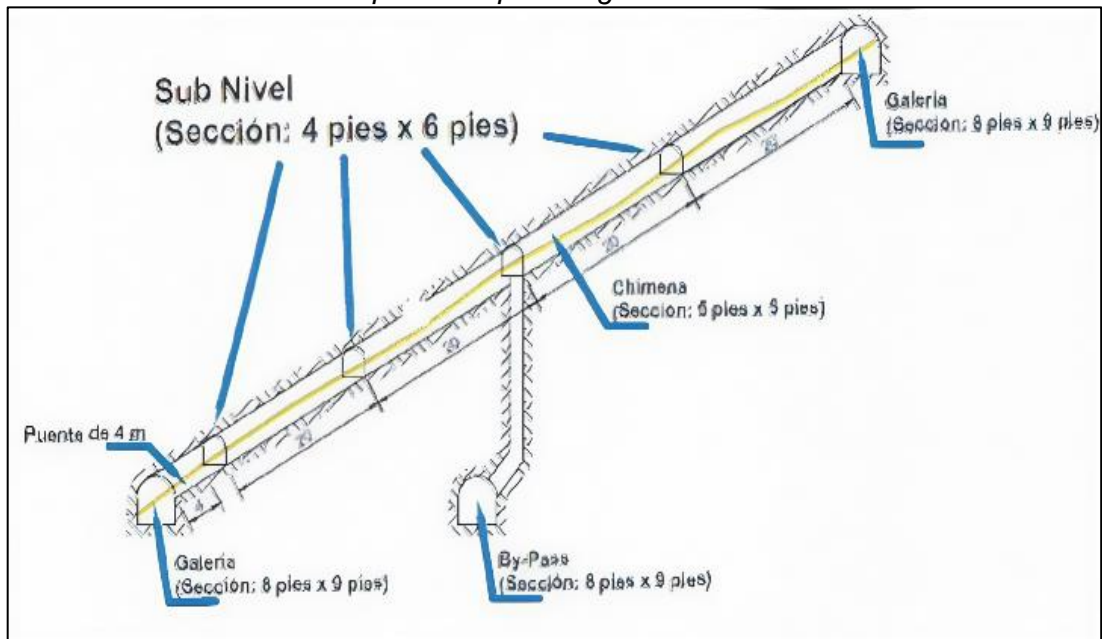
Método de explotación por corte y relleno ascendente



Fuente: Minera Aurífera Retamas

Figura 16

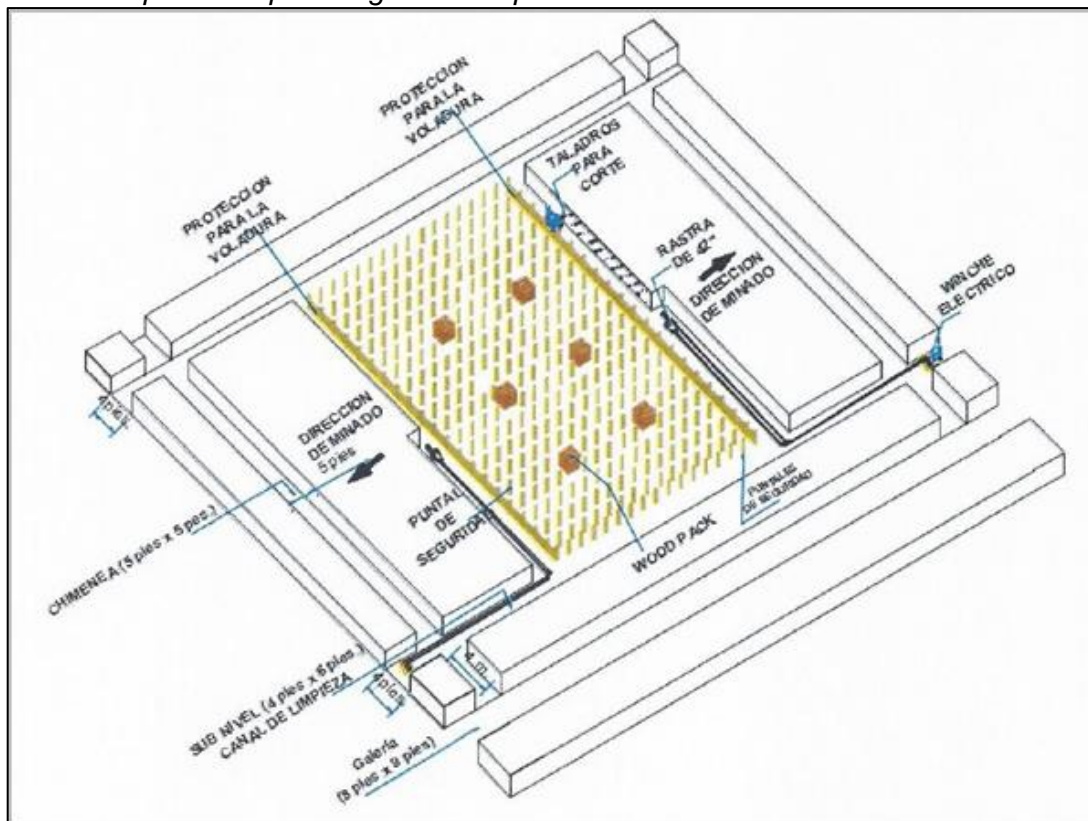
Vista transversal Método de explotación por Long Wall



Fuente: Minera Aurífera Retamas

Figura 17

Método de explotación por Long Wall con puntales



Fuente: Minera Aurífera Retamas

3.2 Levantamiento de ventilación

Las mediciones de flujo de aire realizadas se basaron a la norma: “ASHRAE 111; Practices for measurement, testing, adjusting and balancing of building heating, ventilation, Air-conditioning and refrigeration Systems” usando el método de áreas iguales “Method of equal areas”.

El área de la sección transversal del túnel a medir con el anemómetro se puede dividir en áreas iguales y se hace la medición en el centro de cada área, luego estas velocidades se promedian para obtener la velocidad media correspondiente.

Para efectuar el Levantamiento de Ventilación, se estructuró un esquema de medición, determinado por estaciones principales (para el aforo de caudales) y estaciones secundarias, identificando las labores, dirección y velocidad del aire, obteniéndose los flujos para el balance de aire.

En el levantamiento de campo se contabilizaron:

- Estaciones principales: 11 puntos (06 ingresos y 05 salidas).
- Estaciones secundarias: 832 puntos.
- Total: 843 estaciones.

3.2.1 Equipos e instrumentos de medición

Se detallan los equipos utilizados:

- (03) Equipo multifunción TESTO 480 con sonda térmica Ø 10 mm y sonda de molinete Ø 16 mm.
- Manómetro TESTO 510-11, para medición de la presión barométrica.
- Kit Smart Probes TESTO, para medición de la temperatura ambiente, bulbo húmedo, punto de rocío y humedad relativa.
- Sonda de inmersión para medir temperatura en la roca.
- Distanciómetro digital BOSCH.
- Tubo de Pitot de 1 m con accesorios.

3.2.2 Metodología de trabajo

Se detallan a continuación las actividades realizadas:

- Identificación de los principales ingresos y salidas de aire en la mina, así como por Zonas de producción, realizando el balance de ventilación global.
- Codificación de todas las estaciones de monitoreo, indicando el nivel al que pertenecen, labor, dirección del flujo, midiendo la velocidad del aire, sección de la labor y condiciones termo ambientales.
- Evaluar el estado de las puertas, reguladores, tapones, chimeneas, mangas y ventiladores para identificar zonas de recirculación del aire.
- Realizar un barrido sobre la RP PATRICK para el análisis de temperatura y caída de presión.
- Medición de ventiladores principales, secundarios y auxiliares por familia para el cálculo de su eficiencia.

3.2.3 Medición de estaciones de ventilación

Se tomaron las mediciones por nivel y por zona identificando las estaciones de ventilación, que nos permiten monitorear el caudal de aire de ingreso y salida de mina, así como el aire en labores y accesos de tránsito de personal y equipos.

Estas estaciones fueron indicadas en los planos de ventilación por cada nivel, donde se muestran la sección de la labor, la temperatura, el caudal, velocidad y el tipo de aire (fresco o viciado).

3.2.4 Estaciones principales – ingresos de aire

El ingreso de aire fresco se compone de (06) estaciones principales, de los cuales la labor CH 23 representa el 3%, la labor CH 26 con 1%, la labor CH 06 con 10%, la labor P42 con 9%, la labor P1 con 53% y la labor CH 30 con 21%. Siendo el total de ingreso de aire en 571,236 cfm.

Tabla 4*Ingreso de aire actual, medición de campo*

EST.	UBICACIÓN		SECCIÓN	VELOCIDAD		CAUDAL		DIST. PORC.
	NIVEL	LABOR		M/S	M/MIN	m³/MIN	CFM	
EVP 01	3410	CHI 23	6.8	1.29	78	530.6	18,738	3%
EVP 02	3410	CHI 26	5.4	0.37	22	121.8	4,301	1%
EVP 03	3220	CHI 06	6..2	4.26	255	1,577.8	55,721	10%
EVP 04	3170	P42	8.7	2.92	175	1,526.6	53,911	9%
EVP 05	3170	P1	16.9	8.41	505	8,510.9	300,558	53%
EVP 06	3220	CHI 30	15.2	3.73	224	3,412.1	120,495	21%
Ingreso de aire por compresoras						495.9	17,411	3%
Total						16,176	571,236	100%

Fuente: Minera Aurífera Retamas

3.2.5 Estaciones Principales – Salidas de Aire

La salida de aire viciado de la mina se compone de (05) estaciones principales, de los cuales la labor RB 12 representa el 16%, la labor EV 28 con 23%, la labor RB 11 con 21%, la labor BM 3410 con 21% y la labor P5 XC FAR WEST con 19%. Siendo el total de salida de aire en 603,777 cfm.

Tabla 5*Salida de aire actual, medición de campo*

EST.	UBICACIÓN		SECCIÓN	VELOCIDAD		CAUDAL		DIST. PORC.
	NIVEL	LABOR		M/S	M/MIN	m³/MIN	CFM	
EVP 07	3340	RB 12	3.7	12.68	761	2,787.4	98,434	16%
EVP 08	2520	EV 28	6.1	10.70	642	3,913.5	138,204	23%
EVP 09	3410	RB 11	4.0	14.69	881	3,504.3	123,751	21%
EVP 10	3410	BM 3410	5.6	10.85	651	3,636.6	128,424	21%
EVP 11	2950	P5	7.3	7.43	446	3,255.4	114,964	19%
Total						17,097	603,777	100%

Fuente: Minera Aurífera Retamas

3.2.6 Estaciones secundarias

Las estaciones de ventilación secundarias se ubicaron en las labores de mayor representatividad del flujo de aire, contándose un total de 832 estaciones de monitoreo.

Cabe indicar que estas mediciones se realizaron tanto en cruceros como en la cabeza y pie de ingresos y salidas de aire, con mayor énfasis en los niveles de producción.

3.3 Sistema actual de ventilación

3.3.1 Balance y cobertura de aire global

En la se muestra el balance de aire con déficit de y cobertura global de

Tabla 6

Balance de aire y cobertura - Mina Marsa

CAUDAL DE AIRE	UNIDAD	ACTUAL (DIC. 2019)
Requerido	Cfm	1,084,936
Ingreso	Cfm	580,888
Salida	Cfm	586,323
Déficit / superávit	Cfm	-504,048
Cobertura	%	53.54%

Fuente: Minera Aurífera Retamas

3.3.2 Inventario de ventiladores

Se tiene un total de 94 ventiladores en operación y 07 apagados.

Según, la Figura 18, en las zonas Chilcas bajo y VALERIA I se tienen instalados la mayor cantidad de ventiladores, contándose un total de 43.

Tabla 7

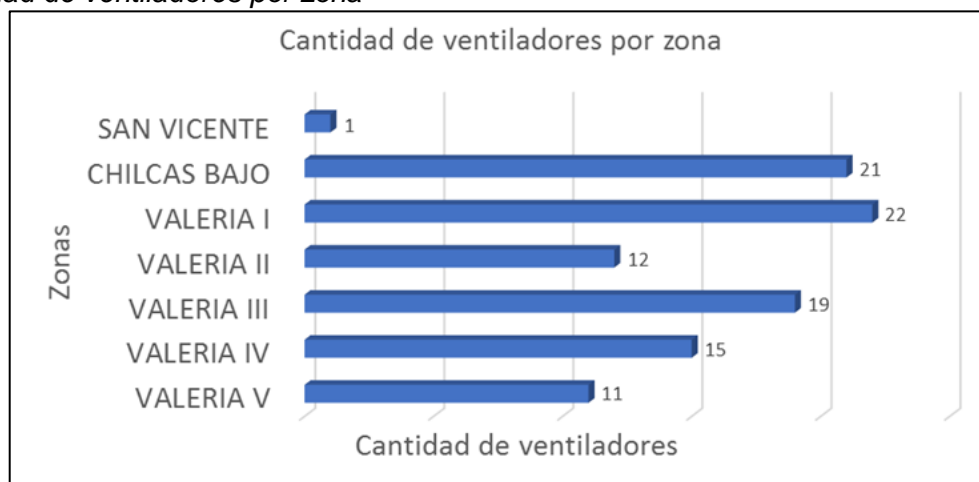
Cantidad de ventiladores por zona

ÍTEM	ZONA	CANT. DE VENTILADORES	PORCENTAJE
1	San Vicente	1	1%
2	Chilcas	21	21%
3	Valeria I	22	22%
4	Valeria II	12	12%
5	Valeria III	19	19%
6	Valeria IV	15	15%
7	Valeria V	11	11%
	TOTAL	101	100%

Fuente: Minera Aurífera Retamas

Figura 18

Cantidad de ventiladores por zona



Fuente: Elaboración propia

3.3.3 Costo de energía global

El costo de energía global es US\$ 1,811,791, el costo de energía es 0.062 US\$/kW-h.

3.3.3.1 Costo de energía por Eje

Según, la Tabla 8, los circuitos FAR WEST y RC 43 con mayor costo por consumo energético, representan el 49% del costo total.

Tabla 8

Costo de energía por eje

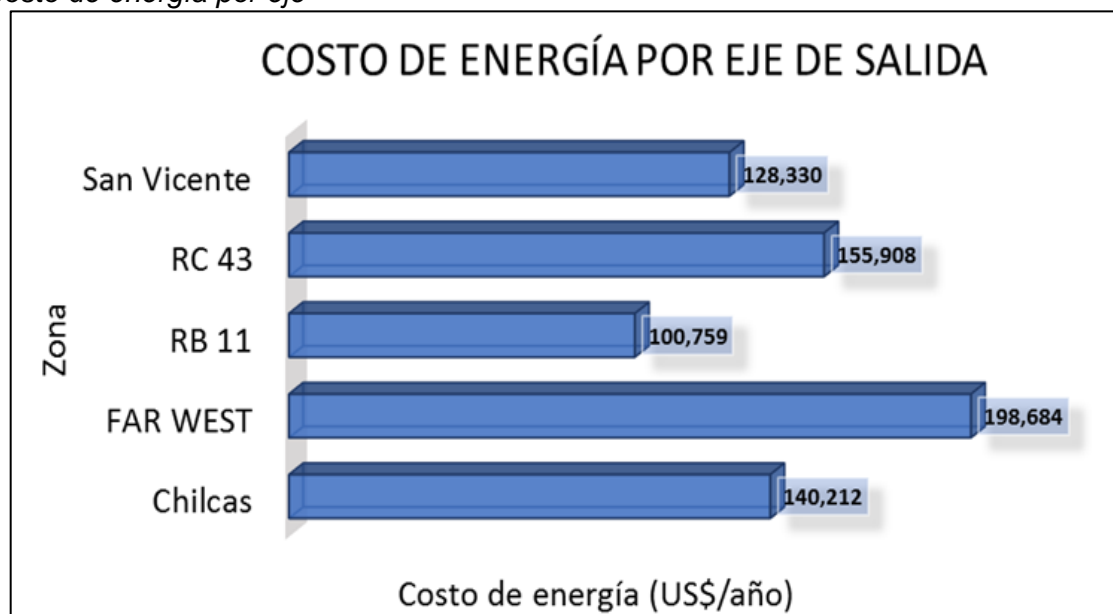
Ítem	Circuito	Costo Anual US\$/año	Porcentaje
1	Chilcas	140,212	19%
2	Far west	198,684	27%
3	RB 11	100,759	14%
4	RC 43	155,908	22%
5	San Vicente	128,330	18%
TOTAL		723,893	100%

Fuente: Minera Aurífera Retamas

Según, la Figura 19, los circuitos FAR WEST y RC 43 con mayor costo por consumo energético, suman US\$ 354,592; siendo el circuito RB 11 el de menor consumo energético con US\$100,759.

Figura 19

Costo de energía por eje



Fuente: Elaboración propia

3.3.3.2 Costo de energía por zona. Según, la Figura 20, las zonas VALERIA III y VALERIA V con mayor consumo energético representan el 41% con un costo de US\$ 490,099; siendo la zona VALERIA II el de menor costo.

Tabla 9

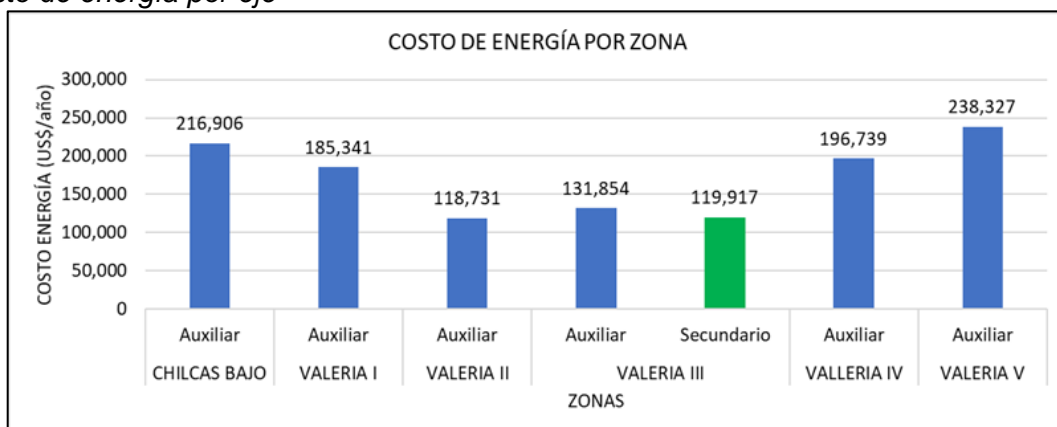
Costo de energía por zonas

ZONA	TIPO	CANTIDAD	COSTO ANNUAL (US\$/AÑO)	%
CHILCAS BAJI	Auxiliar	17	216,906	18%
VALERIA I	Auxiliar	21	185,341	15%
VALERIA II	Auxiliar	11	118,731	10%
VALERIA III	Auxiliar	15	131,854	21%
	Secundario	1	119,917	
VALERIA IV	Auxiliar	14	196,739	16%
VALERIA V	Auxiliar	10	238,327	20%
Total general	Auxiliar	89	1,207,815	100%

Fuente: Minera Aurífera Retamas

Figura 20

Costo de energía por eje



Fuente: Elaboración propia

3.3.4 Caída de presión por eje

Se han determinado las caídas de presión de los 05 ejes principales de salidas de aire con el soporte del modelo 3D elaborado en Ventsim. (Ver Anexos 1 – 5).

Tabla 10

Descripción de ejes principales de salida de aire

EJE PRINCIPAL	UBICACIÓN	ZONAS QUE VENTILA	COORDENADAS UTM		
			N	E	COTA
Circuito RC 10	BM Chilcas	VALERIA IV y V	230,457.5	9,110,800.7	3,234.0
Circuito RC 43	Curva 13	VALERIA IV y V	230,895.5	9,110,258.7	3,358.5
Circuito RB 11	Curva 15	VALERIA I y II	230,983.4	9,110,271.7	3,398.8
Circuito San Vicente	BM 3410	CHILCAS	230,882.7	9,110,109.1	3,412.2
Circuito FAR WEST	BM R-2	VALERIA II y III	228,112.0	9,111,806.0	2,950.8

Fuente: Minera Aurífera Retamas

Tabla 11

Caída de presión por eje principal

ITEM	CIRCUITO	NIVEL SUPERIOR	NIVEL INFERIOR	DISTANCIA DE RECORRIDO TOTAL (M)	RESISTENCIA (Ns ² /m ⁸)	CAÍDA DE PRESIÓN ("C.A.)
1	Far West	2950	2620	4,515	0.36671	9.69
2	Chilcas	3220	2404	2,150	1.16743	11.82
3	San Vicente	3410	3220	2,540	0.85436	9.6
4	RB 11	3410	2770	1,655	0.75959	8.62
5	RC 43 (RB 12)	3350	2245	2,036	0.81116	11.8

Fuente: Minera Aurífera Retamas

3.3.5 Distribución de ductos de ventilación por zonas

Tabla 12

Longitud total de mangas por zonas

ÍTEM	ZONAS	LONGITUD TOTAL DE MANGA (m)	%
1	CHILCAS BAJO	4,955	19%
2	VALERIA I	5,575	22%
3	VALERIA II	3,764	15%
4	VALERIA III	5,031	20%
5	VALLERIA IV	4,001	16%
6	VALERIA V	2,364	9%
Total general		25,691	100%

Fuente: Minera Aurífera Retamas

Tabla 13

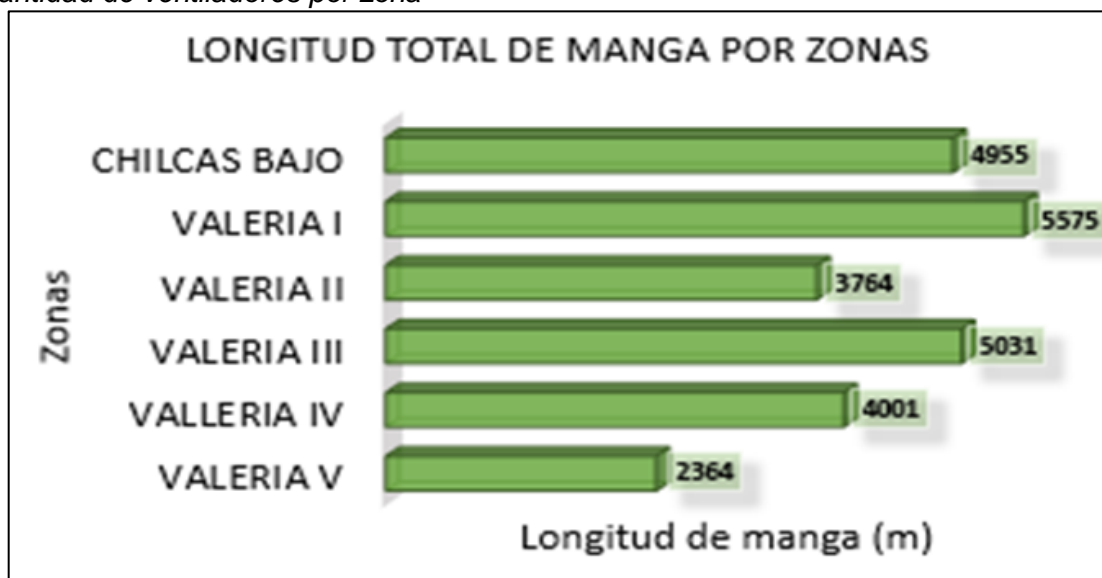
Longitud total de mangas en relación al diámetro por zonas

Ítem	Zonas	Long. manga (m) de 30"	Long. manga (m) de 24"	Long. manga (m) de 18"	Long. manga (m) de 12"
1	CHILCAS BAJO	2,501	1,469	475	511
2	VALERIA I	2,927	2,389	235	23
3	VALERIA II	1,175	1,887	411	292
4	VALERIA III	2,639	2,226	167	
5	VALLERIA IV	1,422	2,163	329	87
6	VALERIA V	1,529	553	266	16
Total general		12,193	10,686	1,883	929

Fuente: Minera Aurífera Retamas

Figura 21

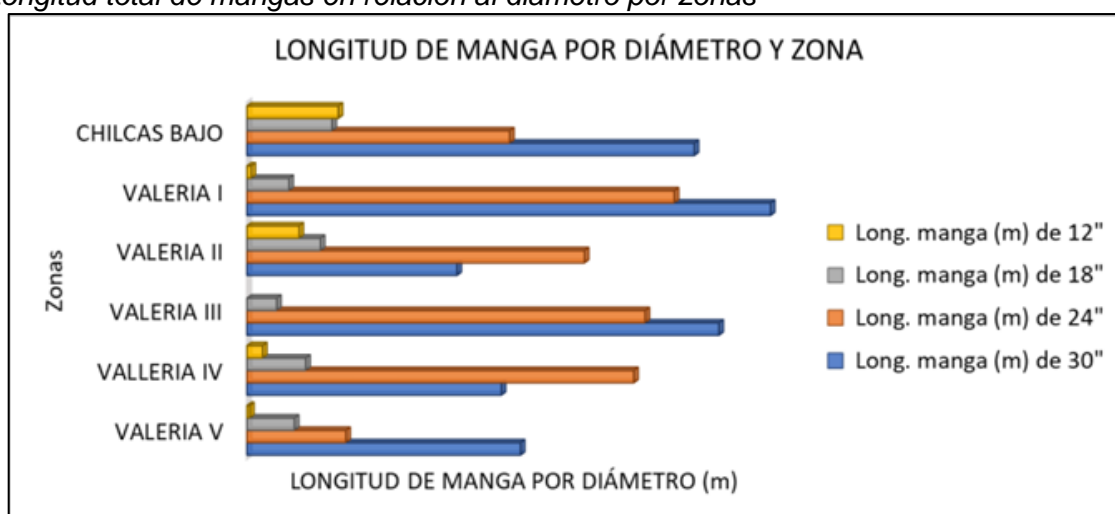
Cantidad de ventiladores por zona



Fuente: Elaboración propia

Figura 22

Longitud total de mangas en relación al diámetro por zonas



Fuente: Elaboración propia

3.4 Modelo 3D del sistema actual de ventilación

La necesidad de analizar redes de ventilación complejas, permitieron optar por una de las herramientas computacionales más avanzadas para realizar el modelamiento, caracterización y obtener un modelo virtual para realizar simulaciones de flujo y calor de manera que ayude a diagnosticar el sistema de ventilación de la mina MARSÁ a detalle para el planteamiento de alternativas de mejora, tomando como requisito fundamental el Estudio de ventilación detallada que fue realizada en la Fase I.

3.4.1 Configuración y entrada de parámetros de simulación

La arquitectura del modelo en 3D del sistema de ventilación, aplica data en su base de configuración del software, debiéndose mantener los parámetros fundamentales como son:

Figura 23

Parámetros termo-ambientales – Mina MARSA

Medio ambiente	
[RESET]	No
Aire densidad de flujo compresible	0.82 kg/m³
Ajuste temperatura superficie	Si
Año actual	2020.005
Calor específico de la roca	778.5 J/kgC
Conductividad Térmica de la roca	4.63 W/mC
Densidad de la roca (Opcional si se establece difusividad)	2,851 kg/m³
Densidad del Aire en la red	0.82 kg/m³
Difusividad térmica de la roca	2.084 10-6 m²/s
Edad del conducto de aire	20.000 años
Elevación superficial de la rejilla de la mina	4,000.0 m
Fracción de la humedad de la roca	0.4
Gradiente geotérmico	1.5 C/100m
Presión barométrica en la superficie	68.7 kPa
Superficie atmosférica tasa de lapso	6.4 C/1000m
Superficie de referencia de humedad relativa	39.7 %
Superficie de referencia elevación sobre el nivel del mar	3,159.3 m
Temperatura de la roca superficial	16.0 C
Temperatura del bulbo húmedo en la superficie	12.0 C
Temperatura del bulbo seco en la superficie	16.0 C

Fuente: Minera Aurífera Retamas

3.4.2 Modelamiento y caracterización topográfica

La data topográfica entregada en el programa Datamine y AutoCAD en 3D, fue procesada en Ventsim Design TM 5.2.

En la Figura 24 y Figura 25, se muestran las vistas del modelo 3D, donde se detallan los aforos, zonas, estructuras mineralógicas y niveles.

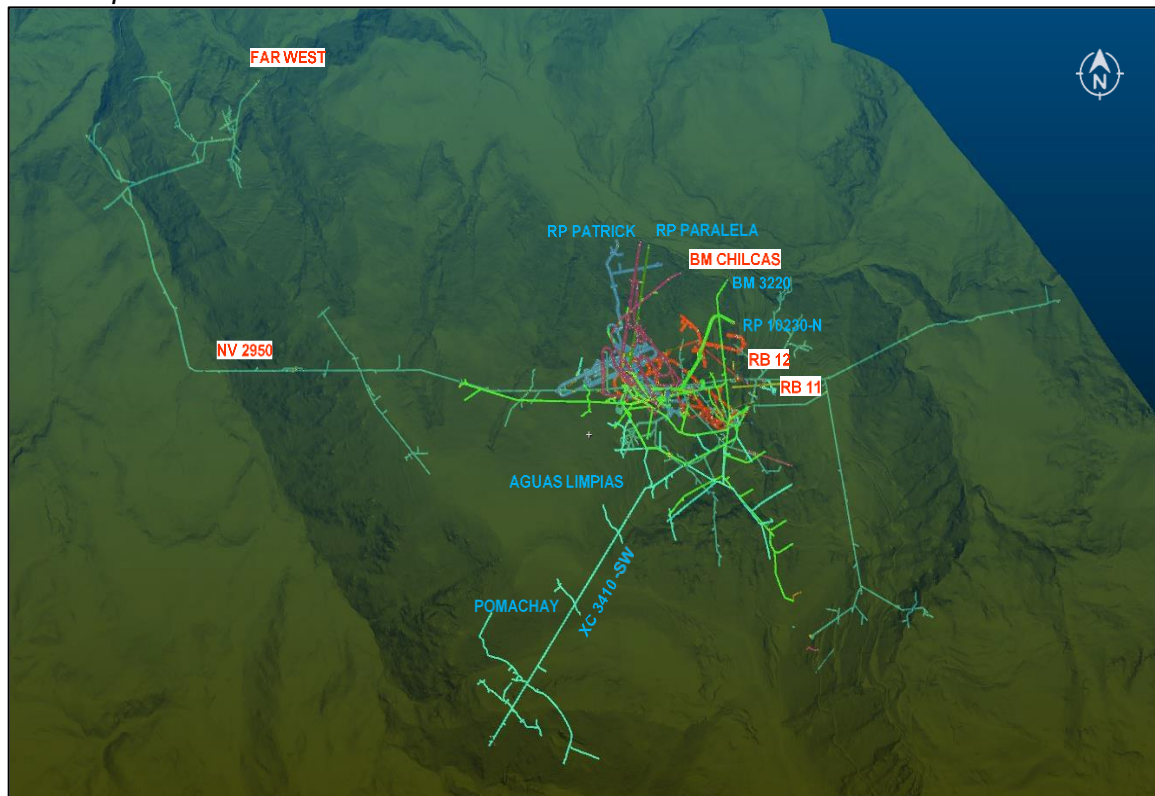
3.4.3 Caracterización de ventiladores

En el sistema de ventilación de la U.M. “San Andrés” intervienen 03 ventiladores de 150,000 cfm y 02 de 110,000 cfm que evacuan todo el aire viciado hacia superficie, cuales fueron caracterizados en el software AIRTEC para ser importados al software Ventsim.

A continuación, se muestran las curvas características de los 05 ventiladores principales y 01 secundario en el software Ventsim.

Figura 24

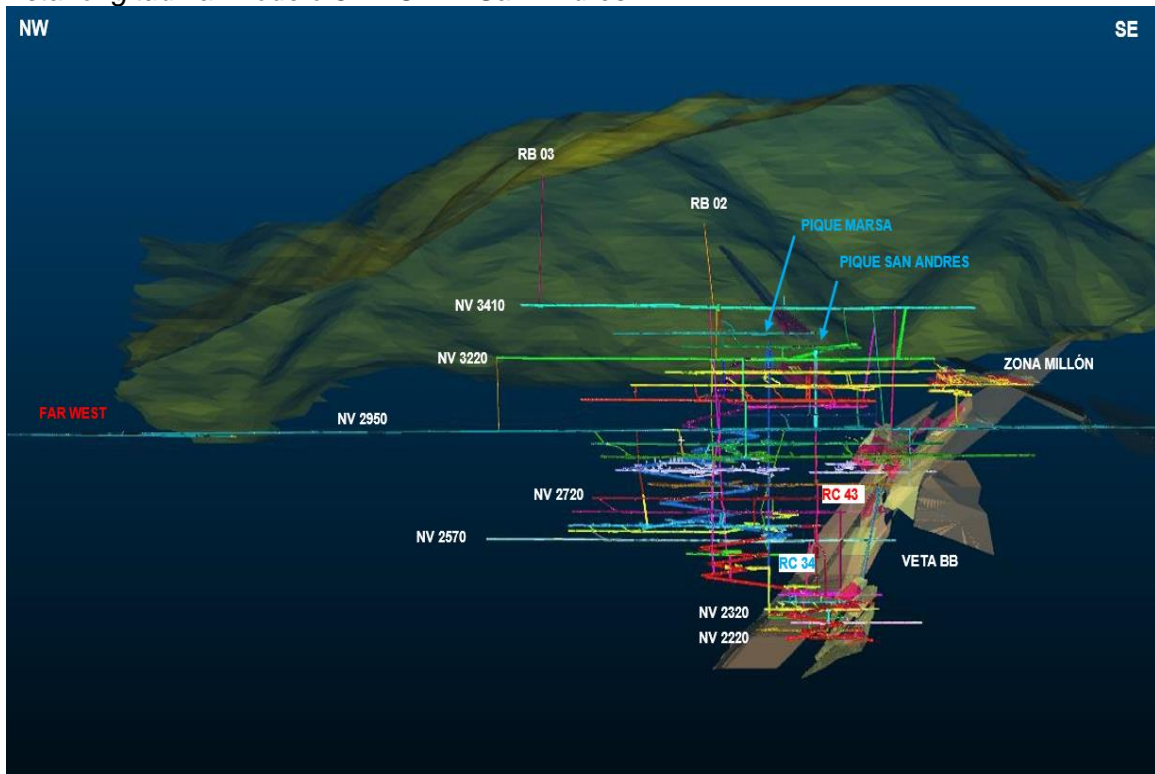
Vista en planta del modelo 3D – U.M. “San Andrés”



Fuente: Elaboración propia

Figura 25

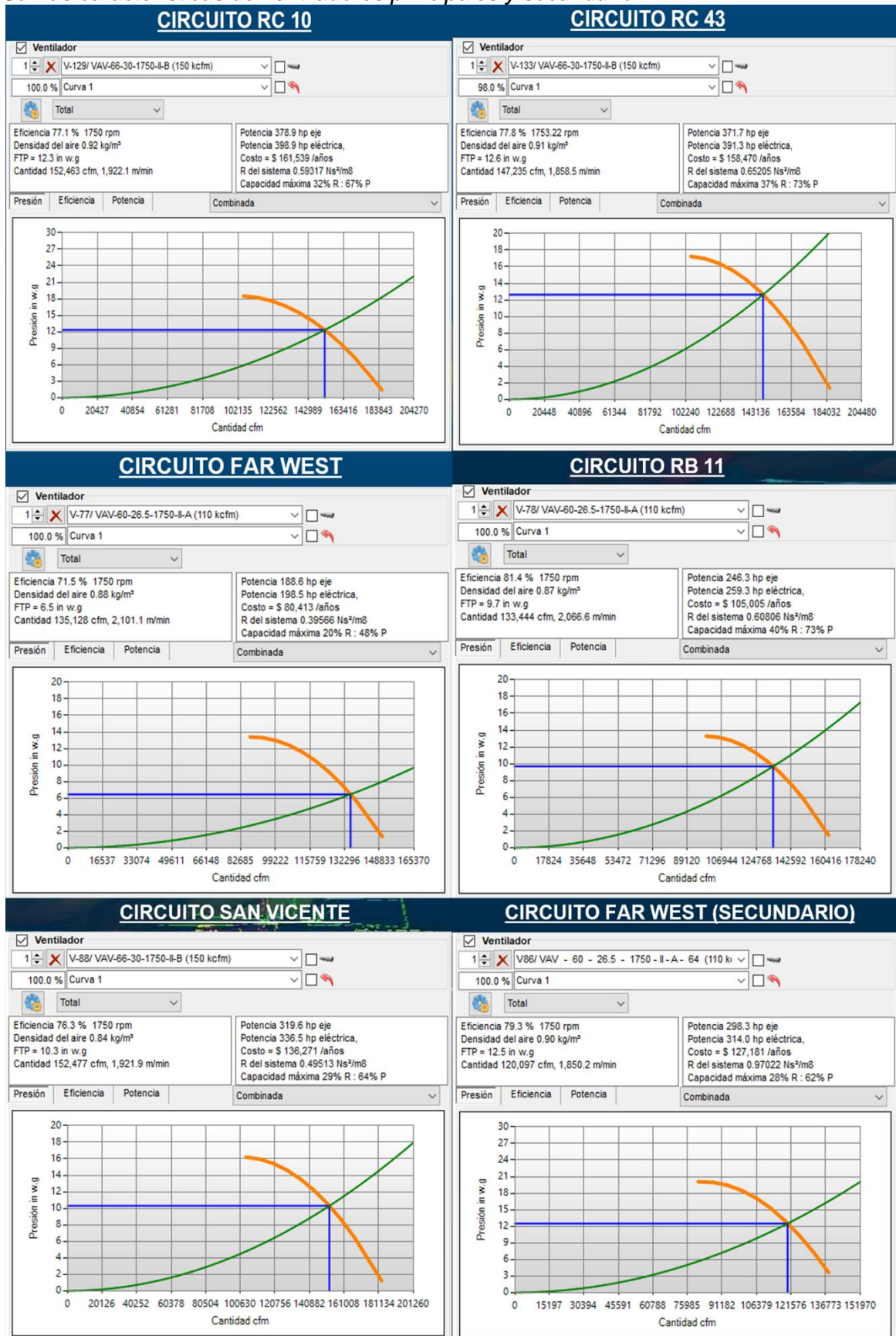
Vista longitudinal modelo 3D - U.M. "San Andrés"



Fuente: Elaboración propia

Figura 26

Curvas características de ventiladores principales y secundario



Fuente: Elaboración propia

3.4.4 Calibración del modelo

La calibración consistió en lograr la convergencia de los flujos de aire entre los datos del software y medidos en campo. A menudo, los datos obtenidos pueden contener errores de medición, cuyo rango no debe superar $\pm 10\%$ por error de uso de equipos anemómetros, equipos en movimiento, puertas o reguladores, ventiladores apagados y otros disturbios temporales que afectan las mediciones.

$$Variación \% = \frac{\sum F.campo - \sum F.simulacion}{\sum F.campo} \times 100 \quad (9)$$

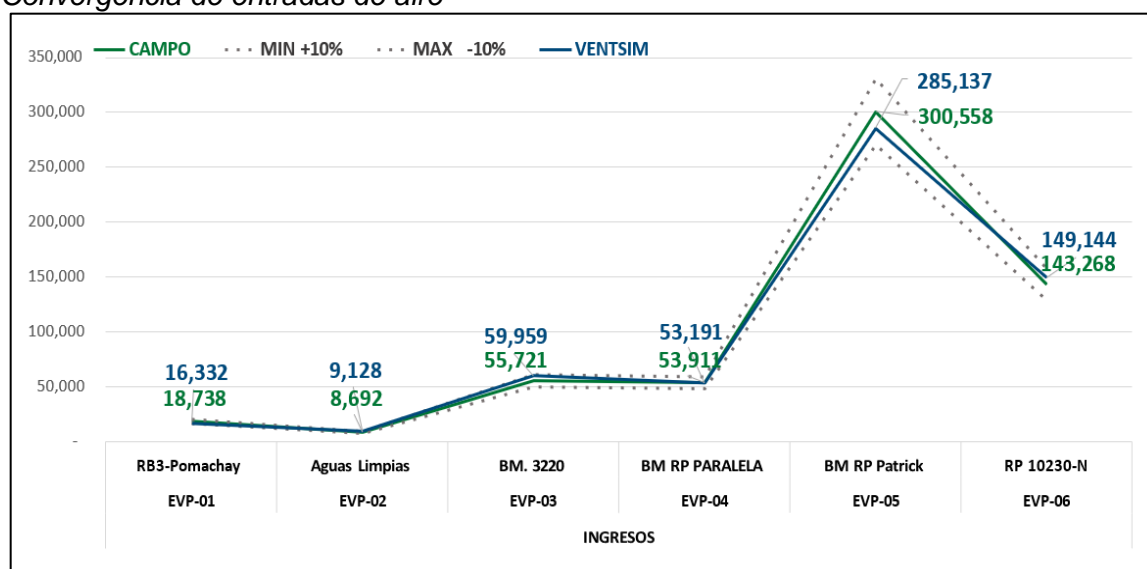
3.4.4.1 Convergencia de estaciones principales y secundarias. A continuación, se muestran los gráficos de convergencia, incluyendo estaciones principales como secundarias.

Los resultados obtenidos en magnitud, las direcciones de los flujos de aire medidos indican la confiabilidad del modelo. Por ende, se pueden plantear proyecciones con los diseños de ventilación, según las necesidades del Departamento de Planeamiento, Ventilación, Seguridad y otras áreas competentes.

3.4.4.1.1 Convergencia de estaciones principales. En la Figura 27 y Figura 28, se pueden visualizar las convergencias de las estaciones principales con un rango de variación dentro del 10%.

Figura 27

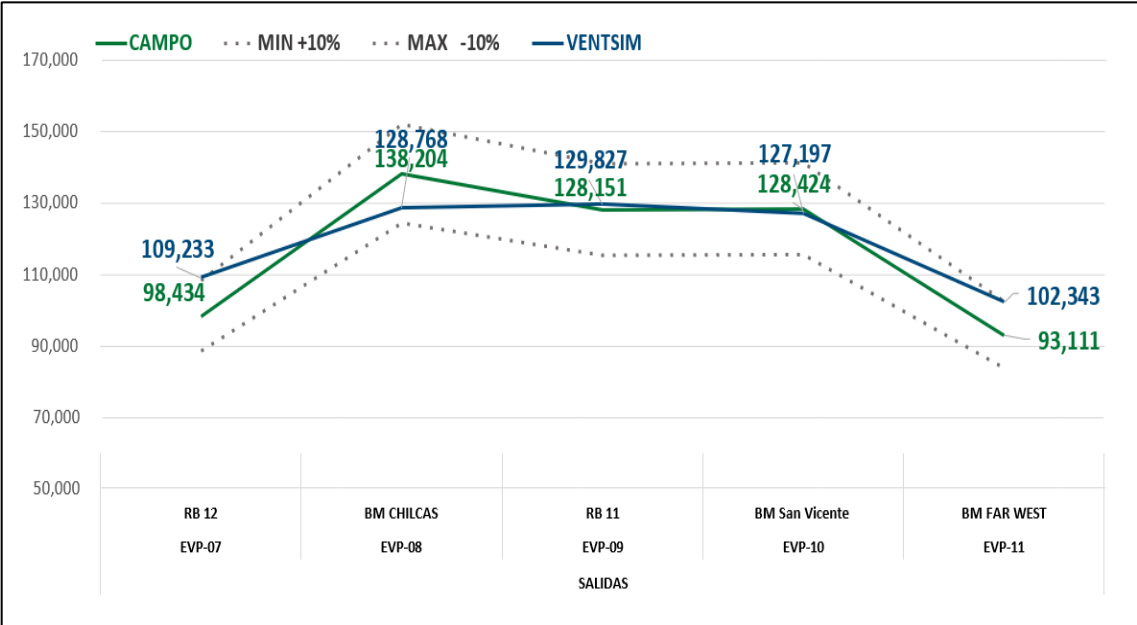
Convergencia de entradas de aire



Fuente: Elaboración propia

Figura 28

Convergencia de salidas de aire

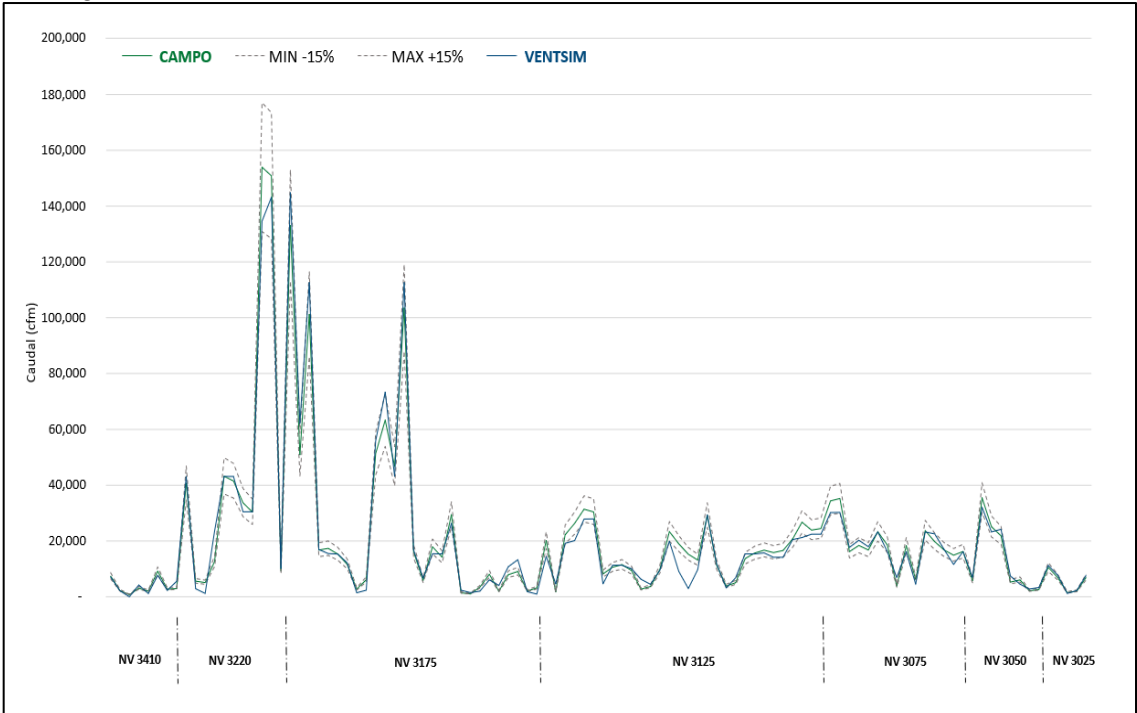


Fuente: Elaboración propia

3.4.4.1.2 Convergencia de estaciones secundarias. En la Figura 29 y Figura 30, se visualizan la convergencia de las estaciones secundarias en el rango de $\pm 15\%$.

Figura 29

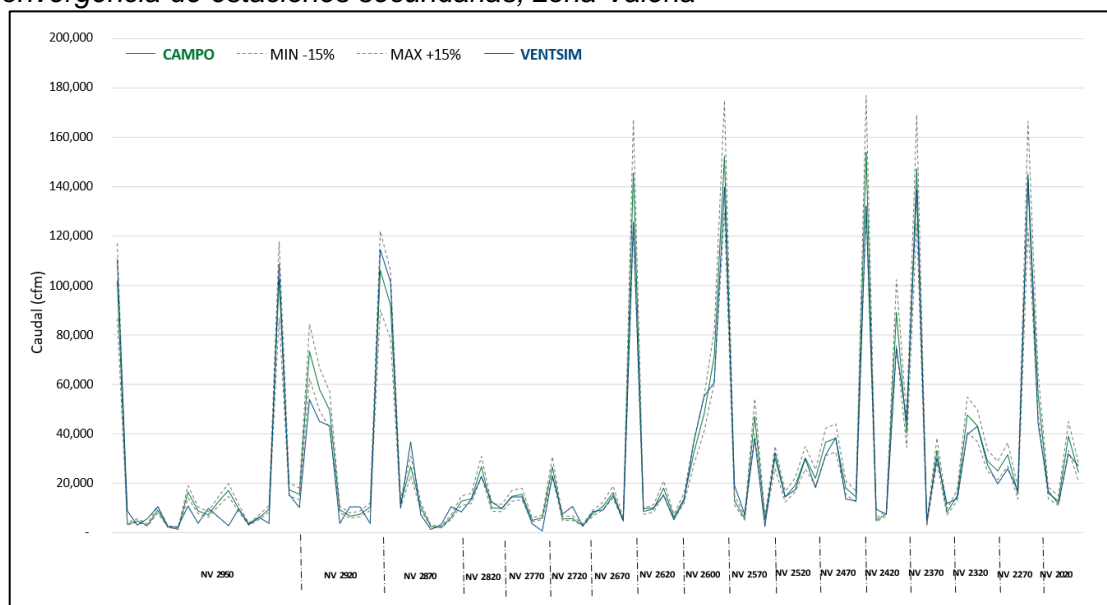
Convergencia de estaciones secundarias, zona chilcas



Fuente: Elaboración propia

Figura 30

Convergencia de estaciones secundarias, zona Valeria



Fuente: Elaboración propia

3.4.5 Simulación de flujo de aire

Una vez calibrado el modelo virtual, se pueden realizar las simulaciones de flujo de aire, calor y contaminantes.

3.4.5.1 Resumen de la red. El caudal de ingreso es 569,591 cfm y caudal de salida es 593,190 cfm con una variación de 3.98%.

Tabla 14

Resumen de la red actual

RESUMEN DE LA RED DEL SISTEMA	
Flujos de aire compresible	Si
La presión de ventilación natural	Si
Tipo de simulación de la presión del ventilador	Método de la presión total
Etapas	0: CALIBRACIÓN DIC. 2019
Conductos de aire	53305y 15 Exclusión
Segmentos de etapa actual	25757 y 11 Exclusión
Longitud total	482,708.8 m
Caudal de aire total de admisión	569,591 cfm
Caudal de aire total de escape	593,190 cfm
Flujo de masa total	233.04 kg/s
Resistencia de la mina (sin tubo)	0.05361 Ns^2/m^8
Resistencia de la mina (Incluyendo el conducto)	0.10637 Ns^2/m^8

Fuente: Elaboración propia

3.4.5.2 Potencia eléctrica instalada (dic. 2019). La potencia eléctrica instalada en Ventsim indica un total de 4,573.2 HP, que genera un costo de energía anual de \$ 1,852,191, este valor representa el funcionamiento de 103 ventiladores: 5 principales, 02 secundarios y 96 auxiliares, el costo de energía es 0.062 US\$/KW-hr.

Tabla 15

Resumen de potencia

RESUMEN DE POTENCIA	
	2,946.7 hp Total
	575.5 hp Chimenea
	909.5 hp Conducir
	1,461.7 hp Conducto de ventilación
Refrigeración Potencia de entrada	0.0 hp
Potencia eléctrica de ENTRADA	4,573.2 hp
Costo de energía anual de la red	\$ 1,852,191
Eficiencia de la red	64.40%
Que consta de.	
103 ventiladores	4,573.2 hp

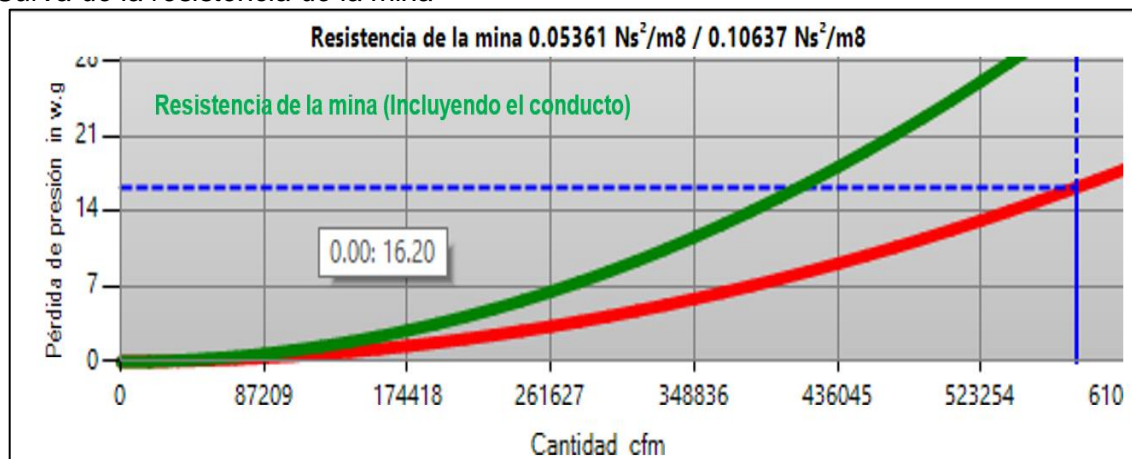
Fuente: Elaboración propia

3.4.5.3 Curva característica de la mina

La resistencia de la mina es 0.05361 Ns²/m⁸, cuya caída de presión de la mina es 16.20 "CA.

Figura 31

Curva de la resistencia de la mina



Fuente: Elaboración propia

3.5 Cálculo de requerimiento de aire global proyectado

En la Tabla 16, se muestra la distribución de requerimiento de aire proyectado, considerando equipos, trabajadores, temperaturas y fugas; con un total de requerimiento de 1,129,475 cfm.

Tabla 16

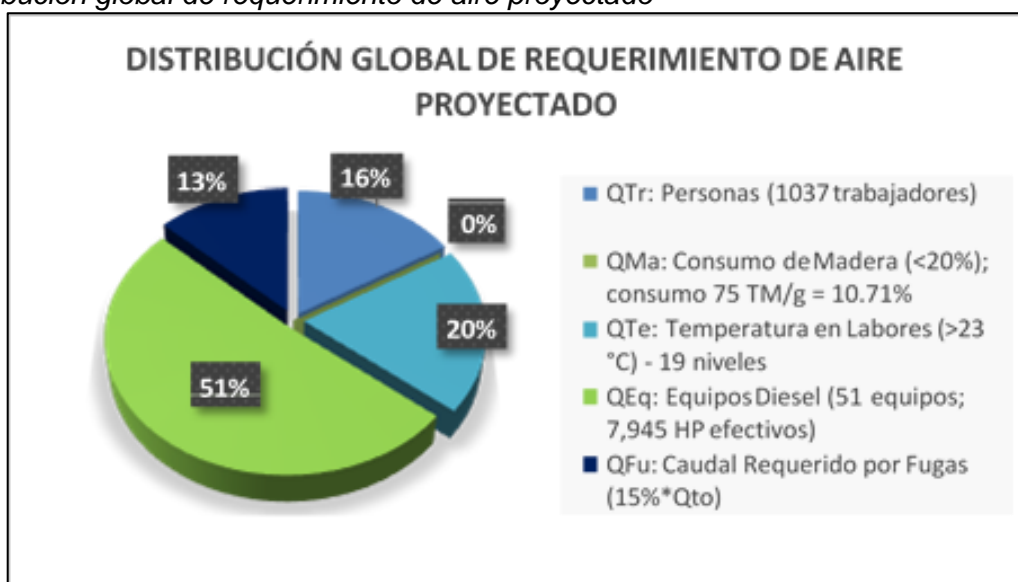
Requerimiento de aire proyectado

DISTRIBUCIÓN REQUERIMIENTOS	m ³ /min	cfm
QTr: Personas (1037 trabajadores)	5,181	182,962
QMa: Consumo de Madera (<20%); consumo 75 TM/g = 10.71%	0	0
QTe: Temperatura en Labores (>23 °C) - 19 niveles	6,270	221,423
QEq: Equipos Diesel (51 equipos; 7,945 HP efectivos)	16,361	577,767
Caudal Requerido QT1 = QTr+QMa+QTe+QEq	27,811	982,152
QFu: Caudal Requerido por Fugas (15%*Qto)	4,172	147,323
Caudal Requerido QTo=QT1+QFu	31,983	1,129,475

Fuente: Elaboración propia

Figura 32

Distribución global de requerimiento de aire proyectado



Fuente: Elaboración propia

3.5.1 Cálculo de requerimiento de aire XC 3410 (XC 10107-S)

El cálculo de requerimiento de aire para el avance del XC 10107-S es 64,260 cfm

Tabla 17*Requerimiento total de aire, XC 10107-S*

DISTRIBUCIÓN REQUERIMIENTOS	m³/min	cfm
QTr: Personas (06 trabajadores)	26	909
QMa: Consumo de Madera (<20%); consumo 0 TM/g	0	0
QTe: Temperatura en Labores (>23 °C) - 0 niveles	0	0
QEq: Equipos Diesel (12 equipos; 1916 HP efectivos)	1,557	54,969
Caudal Requerido QT1 = QTr+QMa+QTe+QEq	1,582	55,879
QFu: Caudal Requerido por Fugas (15%*Qto)	237	8,382
Caudal Requerido QTo=QT1+QFu	1,820	64,260

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18*Detalle de requerimiento de aire por equipos Diesel, XC 10107-S*

ÍTEM	EQUIPO	Potencia Nominal HP validado	F.A. %	Potencia Efectiva HP efectiva	D.M. %	F.U. %	m³/min	Caudal cfm
1	Jumbo BOOMER	73	80%	58	85%	30%	45	1,578
2	Scoop Diésel 6.2 yd3	270	80%	216	90%	30%	175	6,179
3	Volquete 01	480	80%	384	87%	30%	301	10,618
4	Volquete 02	480	80%	384	87%	30%	301	10,618
5	Mezclador de concreto	174	80%	139	96%	30%	120	4,247
6	Lanzador de concreto	96	80%	77	92%	30%	64	2,246
7	BOLTER	147.5	80%	118	92%	30%	98	3,450
8	SCALER	73.5	80%	59	92%	30%	49	1,719
9	Camioncito	157	80%	126	95%	30%	107	3,792
10	Telehanderr	100	80%	80	87%	30%	63	2,212
11	Camioneta 01	172	80%	138	95%	30%	118	4,155
12	Camioneta 02	172	80%	138	95%	30%	118	4,155
Total		2,395		1,916			776	54,969

Fuente: Minera Aurífera Retamas

3.6 Alternativas de diseño a corto, mediano y largo plazo

La necesidad de incrementar el ingreso de caudal de aire y cubrir la cobertura de aire de 53.54% a 100%, exige, el planteamiento de nuevos ejes de ventilación para garantizar la cobertura de aire proyectada de 1'129,475 cfm al 100%, esto con la finalidad de continuar las operaciones mineras incrementado la productividad, cuidando la salud de los colaboradores y cumplir con las disposiciones establecidas por el D.S. N° 024-2016-EM y su modificatoria.

El desarrollo de los proyectos, está planteado por etapas:

- El corto plazo:
(01 año) 2020.
- El mediano plazo:
(02 años) 2021-22.
- El largo plazo:
(05 años) 2023-27.

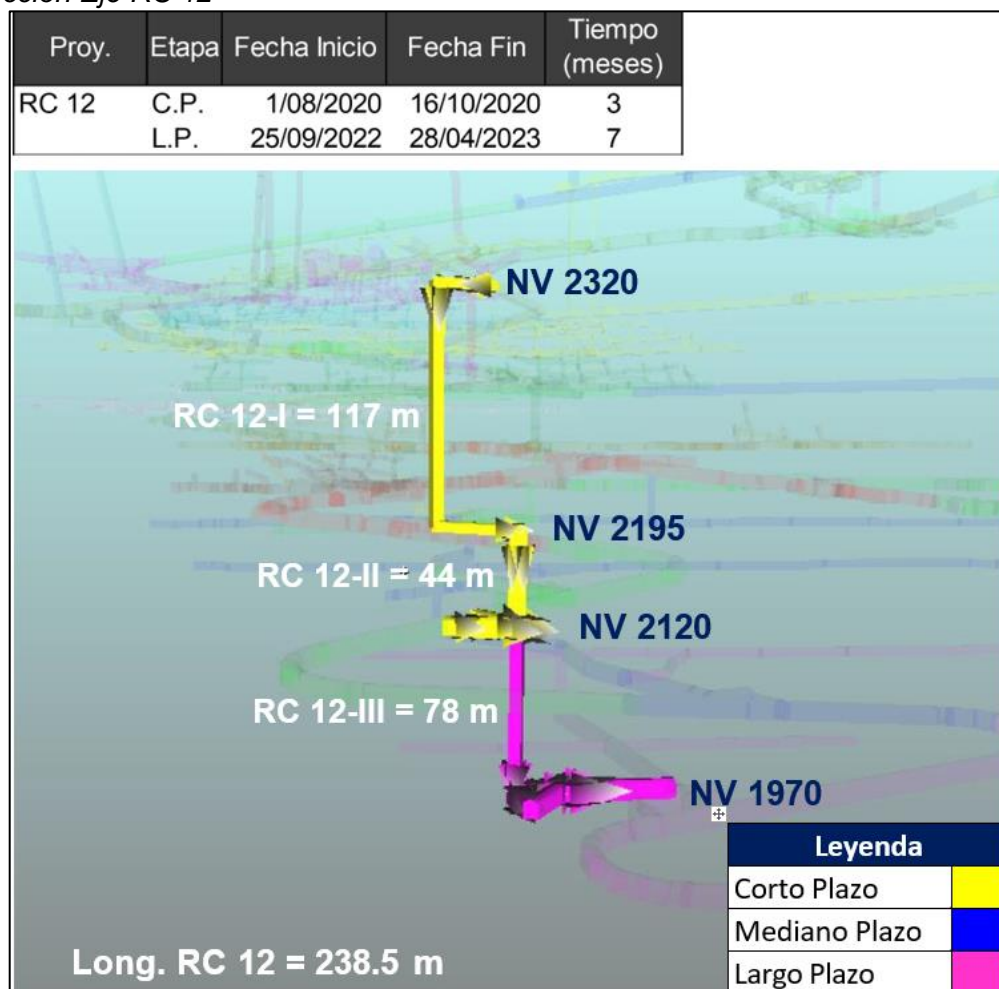
3.6.1 Proyecto 1: Eje RC 12 (Inyección hasta 180 kcfm)

Se plantea proyectar el Eje RC 12 – VI (NV 2320 – 2195), Long. 116.7 m; RC 12-VII (NV 2195 – 2170), Long. 43.8 m; RC 12 – VIII (NV 2170 – 2070), Long. 78.2 m; a corto y mediano plazo con una longitud total de 238.7 m en vertical y sección de 2.4 x 2.4 m, desde el nivel 2320 hasta 2070.

3.6.1.1 Objetivo Eje RC 12. Eje de inyección de aire fresco hacia la RP PATRICK V y zonas VALERIA V y VI, mediante la conexión en los niveles 2320, 2195, 2120 y 1970; donde ventiladores de 30 kcfm de alta presión 16 in.w.g. captan el aire, según requerimiento para distribuir el aire hacia las labores de desarrollo, preparación y explotación. Este Eje, está proyectado para trasladar aire hasta 180 kcfm.

Figura 33

Proyección Eje RC 12



Fuente: Elaboración propia

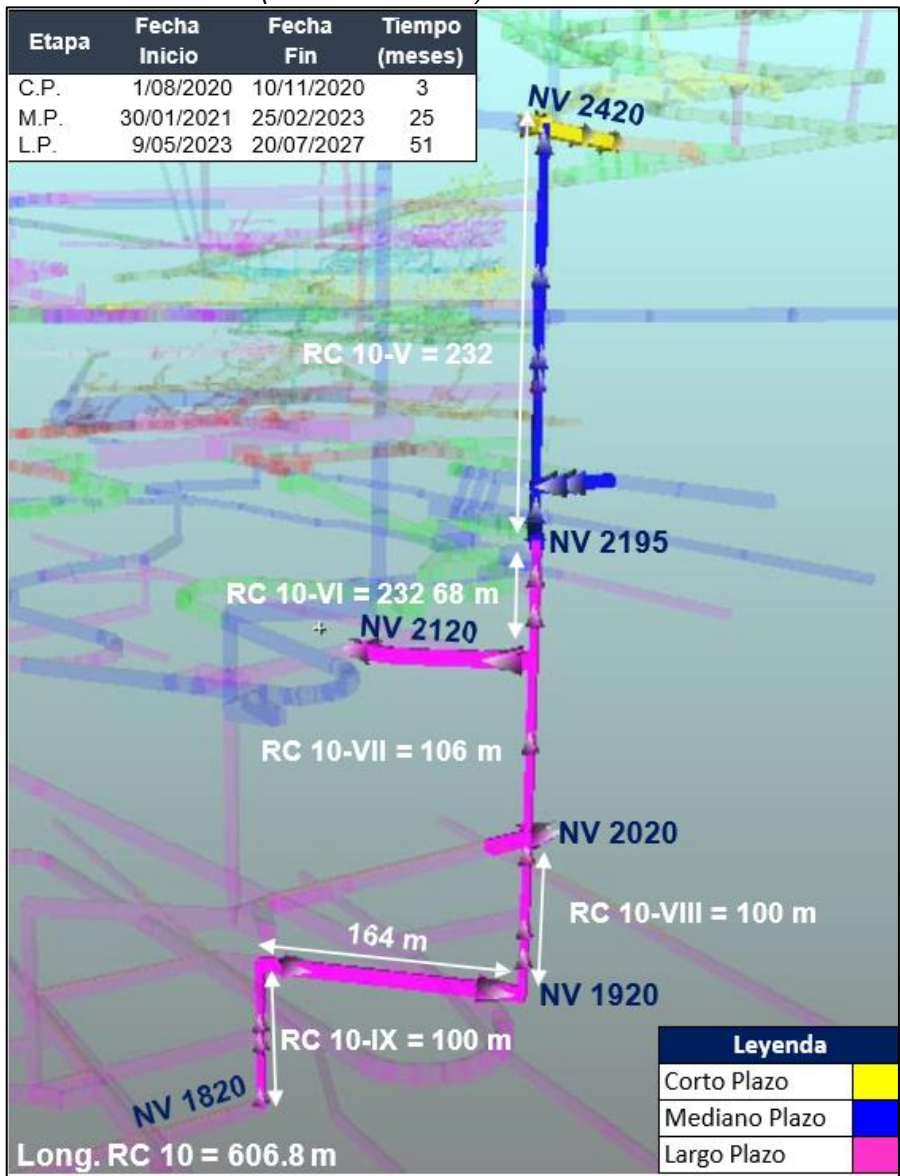
3.6.2 Proyecto 2: Eje RC 10 (Extracción hasta 150 kcfm)

Se plantea proyectar el Eje RC 10-V (NV 2420 – 2195), Long. 229.4 m; RC 10-VI (NV 2195 – 2120), Long. 69.5 m; RC 10-VII (NV 2120 – 2020), Long. 106.9 m; RC 10-VIII (NV 2020 – 1920), Long. 99.9 m y el RC 10-IX (NV 1920 – 1820), Long. 98.9 m; a corto, mediano y largo plazo con una longitud total de 604.6 m en vertical y sección de 2.4 x 2.4 m, desde el nivel 2420 hasta 1820.

3.6.2.1 Objetivo Eje RC 10. Eje de extracción de aire viciado, desde la RP PATRICK V y zonas VALERIA IV, V y VI, mediante la conexión en los niveles 2420, 2195, 2120, 2020, 1920 y 1820 (Veta Daniela); donde 01 ventilador principal de 150 kcfm de alta presión 13.3 in.w.g. evacuará hacia superficie. Este Eje, está proyectado para trasladar aire hasta 150 kcfm.

Figura 34

Sistema de ventilación RC 10 (NV 2420 - 1820)



Fuente: Elaboración propia

3.6.3 Proyecto 3: Eje RC 43 (Extracción hasta 140 kcfm)

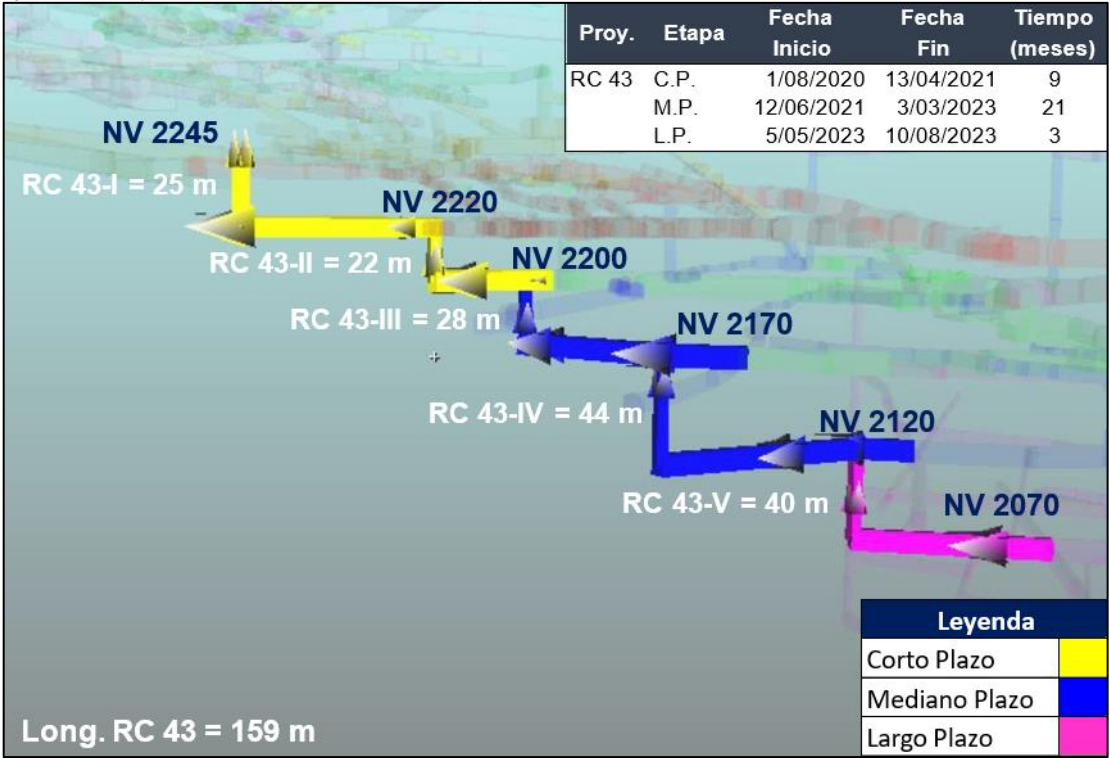
Se plantea construir el Eje RC 43-I (NV 2245 – 2220), Long. 25.5 m; RC 43-II (NV 2220 – 2195), Long. 22.1 m; RC 43-III (NV 2220 – 2170), Long. 27.4 m; RC 43-IV (NV 2170 – 2120), Long. 44.2 m; RC 43-V (NV 2120 – 2070), Long. 40 m; a corto y mediano plazo con una longitud total de 159.1 m en vertical y sección de 2.4 x 2.4 m con trepadora ALIMAK, desde el nivel 2245 hasta 2070.

3.6.3.1 Objetivo Eje RC 43. Eje de extracción de aire viciado desde las zonas VALERIA V y VI, mediante la conexión en los niveles 2245, 2220, 2200, 2170, 2120 y 2070

(Veta Daniela); el ventilador V-133 (150 kcfm) instalado en el NV 2620 seguirá funcionando en la misma ubicación, variando la frecuencia a 55 Hz con presión de 13.7 in.w.g. y caudal de operación de 140,872 cfm. Este Eje, está proyectado para trasladar aire hasta 140 kcfm.

Figura 35

Proyección Eje RC 43 (NV 2245 - 2070)



Fuente: Elaboración propia

3.6.4 Proyecto 4: Eje RC 46 (Extracción hasta 300 kcfm)

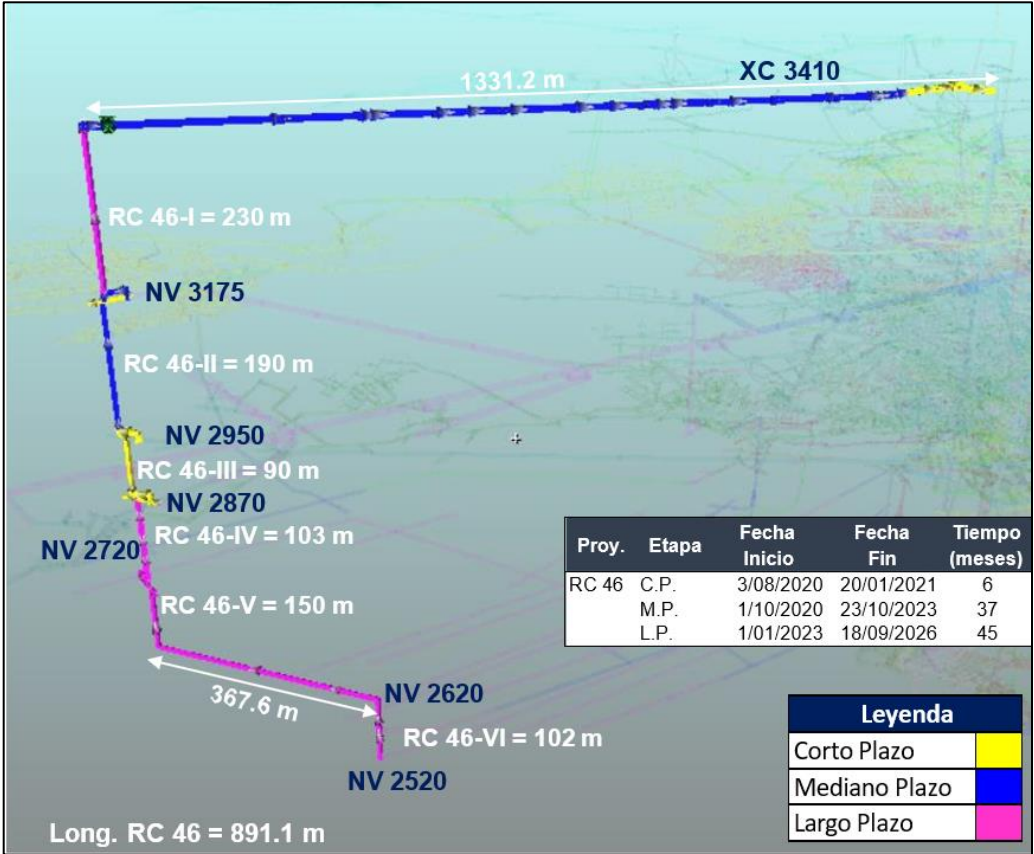
Se plantea construir el Eje RC 46-III (NV 3410 – 3175), Long. 232.5 m; RC 46-II (NV 3175 – 2950), Long. 201.3 m; RC 46-I (NV 2950 – 2870), Long. 103.3 m; RC 46-IV (NV 2870 – 2720), Long. 151.9 m; RC 46-V (NV 2720 – 2620), Long. 100.6 m; RC 46-VI (NV 2620 – 2520), Long. 101.5 m; a corto, mediano y largo plazo con una longitud total de 891.1 m en vertical y sección de 2.9 x 2.9 m con trepadora ALIMAK, desde el nivel 3410 hasta 2520. El XC 10107-S asociado al Eje RC 46, será desarrollado desde superficie, mediante excavación mecanizada con una long. total, de 1331.2 m y sección de 4.0 x 4.5 m.

3.6.4.1 Objetivo Eje RC 46. Eje de extracción de aire viciado desde las zonas CHILCAS BAJO, VALERIA I, II y III, mediante la conexión en los niveles 3175, 2950, 2870, 2770, 2720, 2620 y 2520. Además, servirá para evacuar aire viciado de las labores de

exploración de Veta Cabana 3E, Cabana R3, Cabana 2F y Codiciada Tensional; en el XC 10107-S, se instalarán 02 ventiladores principales (en paralelo) de 150 kcfm de presión 13.3 in.w.g. para evacuar a superficie. Este Eje, está proyectado para trasladar aire hasta 300 kcfm.

Figura 36

Trazo Eje RC 46 (NV 3410 - 2520)



Fuente: Elaboración propia

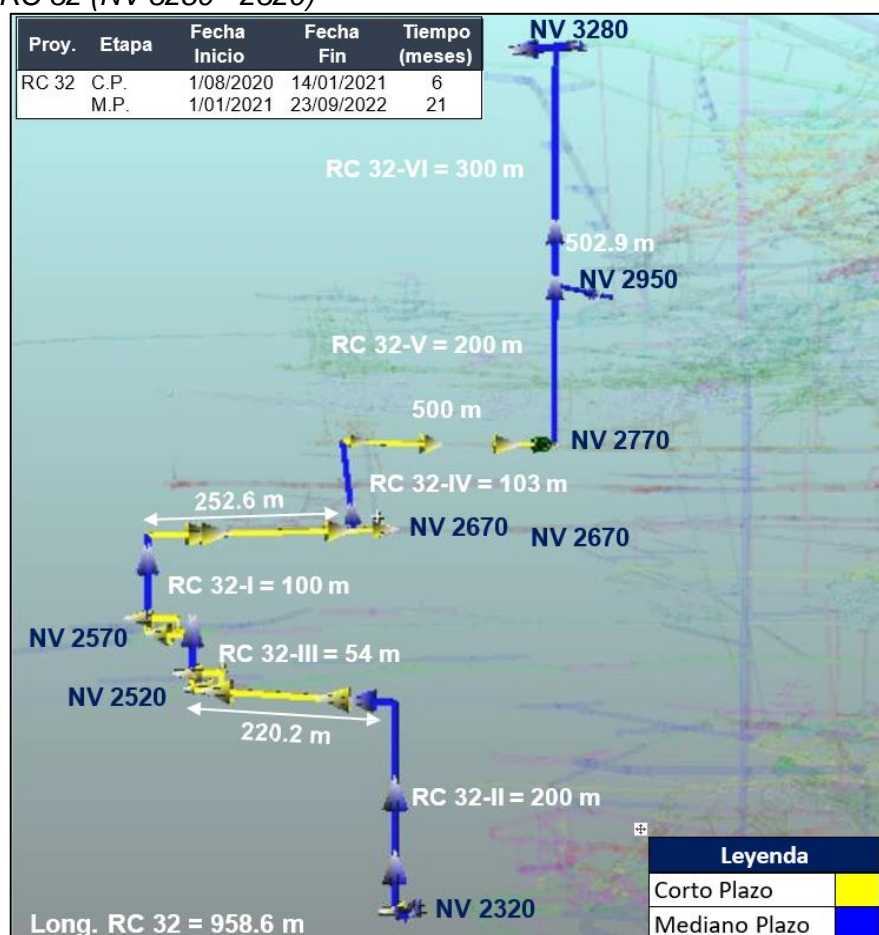
3.6.5 Proyecto 5: Eje RC 32 (Extracción hasta 240 kcfm)

Se plantea construir el Eje RC 32-VI (NV 3280 – 2950), Long. 300.1 m; RC 32-V (NV 2950 – 2770), Long. 202.8 m; RC 32-I (NV 2770 – 2670), Long. 102.6 m; RC 32-II (NV 2670 – 2570), Long. 102 m; RC 32-III (NV 2570 – 2520), Long. 54 m; RC 32-IV (NV 2520 – 2320), Long. 199.2 m; a corto y mediano plazo con una longitud total de 960.7 m en vertical y sección de 2.9 x 2.9 m con trepadora ALIMAK, desde el nivel 3280 hasta 2320. Todo el eje RC 32, incluyendo los cruceros serán construidos con una sección de 3.0 x 3.0 excepto el RC 32-I, cuya sección es 2.4 x 2.4 m.

3.6.5.1 Objetivo Eje RC 32. Eje de extracción de aire viciado desde las zonas VALERIA II y III (Veta BB y Cachaco), mediante la conexión en los niveles 2770, 2670, 2570, 2520 y 2320; en el NV 2770, se instalarán 02 ventiladores principales (en paralelo) de 110 kcfm de presión 13.3 in.w.g. para evacuar a superficie. Este Eje, está proyectado para trasladar aire hasta 240 kcfm.

Figura 37

Trazo Eje RC 32 (NV 3280 - 2320)



Fuente: Elaboración propia

3.6.6 Proyecto 6: Eje RC 47 (Inyección hasta 200 kcfm)

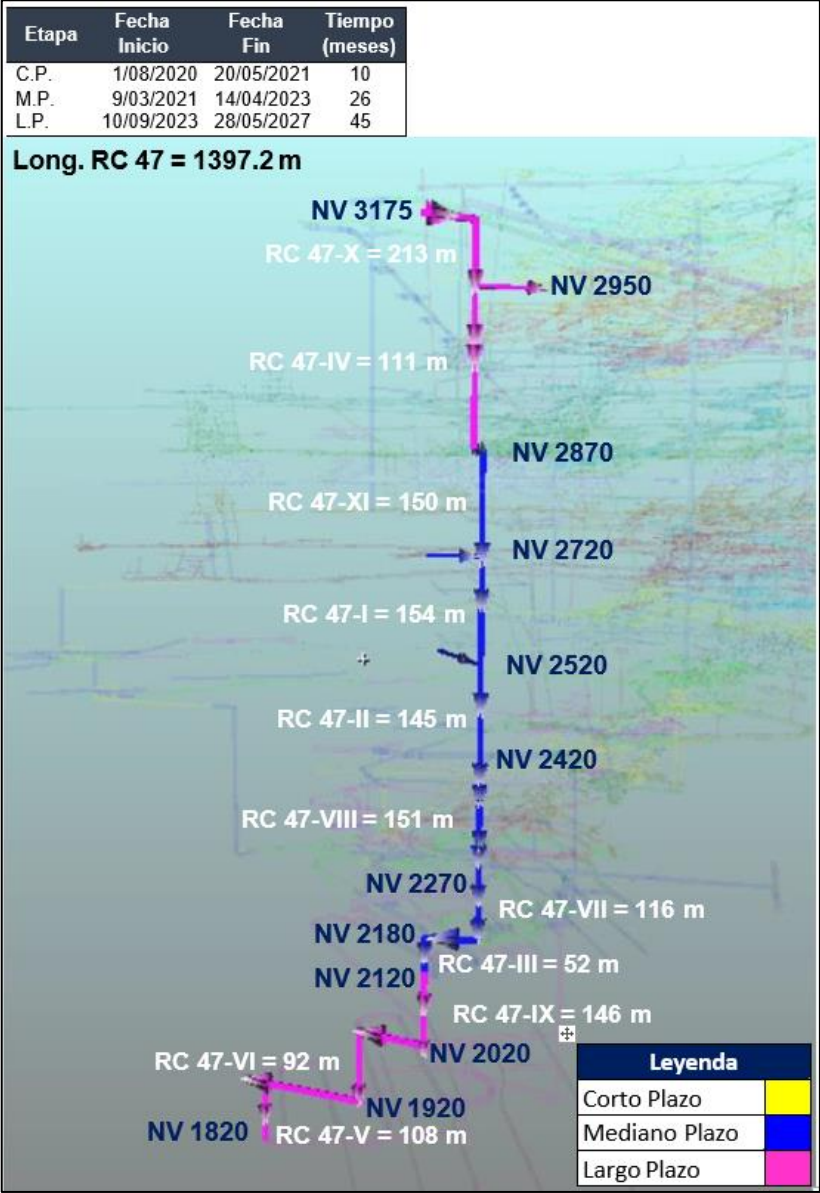
Se plantea construir el Eje RC 47-XI (NV 3170 – 3075), Long. 85.6 m; RC 47-X (NV 3075 – 2870), Long. 211.3 m; RC 47-IX (NV 2870 – 2720), Long. 145.6 m; RC 47-VIII (NV 2720 – 2570), Long. 150.8 m; RC 47-VII (NV 2570 – 2470), Long. 94.2 m; RC 47-I (NV 2470 – 2320), Long. 154.8 m; RC 47-II (NV 2320 – 2170), Long. 145.3 m; RC 47-III (NV 2170 – 2120), Long. 49.2 m; RC-47-IV (NV 2120 – 2020), Long. 111 m; RC-47-V (NV 2020-1920), Long. 108.2 m y RC-47-VI (NV 1920 – 1820), Long. 92 m; a corto y mediano plazo

con una longitud total de 1348 m en vertical y sección de 2.9 x 2.9 m con trepadora ALIMAK, desde el nivel 3280 hasta 2320 Todo el eje RC 32, incluyendo los cruceros serán contruidos con una sección de 2.9 x 2.9 m.

3.6.6.1 Objetivo Eje RC 47. Eje de inyección de aire fresco hacia la RP PATRICK 6 y zona VALERIA VI, mediante la conexión en los niveles 2020, 1920, 1820 (Veta Daniela); donde 06 ventiladores de 30 kcfm de alta presión 16 in.w.g. captan el aire, según requerimiento para distribuir el aire hacia las labores de desarrollo, preparación y explotación. Este Eje, está proyectado para trasladar aire hasta 200 kcfm.

Figura 38

Trazo Eje RC 47 (NV 3175 - 1820)



Fuente: Elaboración propia

3.6.7 Proyecto 7: RC 48 (Inyectar aire fresco hasta 200 kcfm)

Se plantea construir el Eje RC 48-I (NV 3125 – 2870), Long. 233.9 m; RC 48-II (NV 2870 – 2720), Long. 152.2 m; RC 48-III (NV 2720 – 2520), Long. 202.3 m; a corto y mediano plazo con una longitud total de 588.5 m en vertical y sección de 2.9 x 2.9 m con trepadora ALIMAK, desde el nivel 3125 hasta 2520. La RP 3220 está asociada al Eje RC 48, cuya sección es 4.0 x 4.5 m y longitud total de 2111.9 m.

3.6.7.1 Objetivo Eje RC 48. Eje de inyección de aire fresco hacia las zonas VALERIA I, II y III; mediante la conexión en los niveles 3125, 2870, 2720 y 2520 (Veta Daniela); por estos niveles el aire es inyectado y distribuido, según el requerimiento de aire por la depresión generada en el RC 46, hacia las labores de desarrollo, preparación y explotación. Este Eje, está proyectado para trasladar aire hasta 210 kcfm.

Figura 39

Traza Eje RC 48 (NV 3125 - 2520)



Fuente: Elaboración propia

3.6.8 Sección óptima de los ejes de ventilación

Las secciones fueron simuladas, teniendo en cuenta secciones tentativos de 2.9 x 2.9 m, 3.5 x 3.5 m y 4.1 x 4.1 m, seleccionando la sección óptima es 2.9 x 2.9 m (cuadrada) y accesos que conforman el circuito principal con sección de 3.0 x 3.0 m.

Tabla 19

Cálculo para la sección de 2.9 x 2.9 m

	Año	Periodo	Situación Actual		Situación Proyectada		Simulado			Costo de energía (US\$/año)			Sistema de Ventilación		
			Qi (cfm)	Qr actual (cfm)	Qr proy. (cfm)	Q déficit (cfm)	Qi	Cob. (%)	Déficit (cfm)	Vent. Principal	Vent. Auxiliar	Total	Caída de Presión ("C A)	Pot. de Entrada (MWatt)	KPI (US\$/ cfm)
Sección 2.9 x 2.9 m	Dic19- Abr20	Actual	571,000	1,084,000		-513,000	573,342	53%	- 510,658	723,893	1,087,898	1,811,791	16.39	3.38	3.16
	2020	Corto			1,128,000	-385,700	862,072	76%	- 265,928	1,157,179	1,556,591	2,713,770	22.63	5.07	3.15
	2024	Mediano			1,128,000	-214,400	963,892	85%	- 164,108	1,253,139	1,093,132	2,346,271	19.27	4.38	2.43
	2025	Largo			1,128,000	59,680	1,139,723	101%	11,723	1,506,752	1,091,728	2,598,480	16.18	4.85	2.28

Fuente: Minera Aurífera Retamas

Tabla 20

Cálculo para la sección de 4.1 x 4.1 m

	Año	Periodo	Situación Actual		Situación Proyectada		Simulado			Costo de energía (US\$/año)			Sistema de Ventilación		
			Qi (cfm)	Qr actual (cfm)	Qr proy. (cfm)	Q déficit (cfm)	Qi	Cob. (%)	Déficit (cfm)	Vent. Principal	Vent. Auxiliar	Total	Caída de Presión ("C A)	Pot. de Entrada (MWatt)	KPI (US\$/ cfm)
Sección 4.1 x 4.1 m	Dic19- Abr20	Actual	571,000	1,084,000		-513,000	573,342	53%	- 510,658	723,893	1,087,898	1,811,791	16.39	3.38	3.16
	2020	Corto			1,128,000	-385,700	863,641	77%	- 264,359	2,145,639	567,610	2,713,249	22.55	5.07	3.14
	2024	Mediano			1,128,000	-214,400	969,038	86%	- 158,962	1,202,570	1,093,846	2,296,416	18.45	4.29	2.37
	2025	Largo			1,128,000	59,680	1,146,407	102%	18,407	1,301,487	1,092,918	2,394,405	14.26	4.47	2.09

Fuente: Minera Aurífera Retamas

Tabla 21

Cálculo para la sección de 3.5 x 3.5 m

	Año	Periodo	Situación Actual		Situación Proyectada		Simulado			Costo de energía (US\$/año)			Sistema de Ventilación		
			Qi (cfm)	Qr actual (cfm)	Qr proy. (cfm)	Q déficit (cfm)	Qi	Cob. (%)	Déficit (cfm)	Vent. Principal	Vent. Auxiliar	Total	Caída de Presión ("C A)	Pot. de Entrada (MWatt)	KPI (US\$/ cfm)
Sección 3.5 x 3.5 m	Dic19-Abr20	Actual	571,000	1,084,000		-513,000	573,342	53%	-513,000	723,893	1,087,898	1,811,791	16.39	3.38	3.16
	2020	Corto			1,128,000		862,185	76%	-265,815	1,156,835	1,557,116	2,713,951	22.62	5.07	3.15
	2024	Mediano			1,128,000		968,989	86%	-159,011	1,228,458	1,093,233	2,321,691	18.89	4.33	2.40
	2025	Largo			1,128,000		1,149,349	102%	21,349	1,376,757	1,092,180	2,468,937	14.94	4.61	2.15

Fuente: Minera Aurífera Retamas

3.6.8.1 Sección óptima Eje RC 12 (150 kcfm). Con la finalidad de determinar la sección óptima proyectada se han realizado simulaciones a corto y mediano plazo en la ampliación del Eje RC 12, considerando secciones de 2.4 x 2.4 m y 2.9 x 2.9 m.

Con los valores obtenidos productos de la simulación se determina la sección óptima de 2.4 x 2.4 m, con un caudal de salida de 132,935 cfm con 02 ventiladores de 30 kcfm en cada conexión de los Niveles 2195, 2160, 2070; estos ventiladores de 30 kcfm operan con una presión de 14 "CA, ver Tabla 22.

Tabla 22

Sección óptima de 2.4 x 2.4 m, Eje RC 12

Nivel	Descripción	Und.	Corto Plazo		Mediano Plazo	
			2.4 x 2.4 m	2.9 x 2.9 m	2.4 x 2.4 m	2.9 x 2.9 m
RC 12	Caudal salida (Qs)	cfm	122,877	123,711	131,332	132,935
Eje RC 12 (02 V-30 kcfm)						
2200	Potencia	HP	97.6	96.4	97.6	97.4
	Caudal ventilador	CFM	30,844	30,879	30,844	30,823
	Presión ventilador	"CA	13.8	13.6	13.8	13.8
2160	Potencia	HP	93.6	97.4	93.6	101.9
	Caudal ventilador	CFM	31,825	31,212	31,825	30,655
	Presión ventilador	"CA	12.0	13.3	12.0	14.6
2080	Potencia	HP			97.1	110.9
	Caudal ventilador	CFM			30,217	29,853
	Presión ventilador	"CA			14.4	16.8

Fuente: Minera Aurífera Retamas

3.6.8.2 Sección óptima Eje RC 10 (140 kcfm)

Con la finalidad de determinar la sección óptima proyectada se han realizado simulaciones a mediano y largo plazo en la ampliación del Eje RC 10, considerando secciones de 2.4 x 2.4 m y 2.9 x 2.9 m.

Con los valores obtenidos productos de la simulación se determina la sección óptima de 2.4 x 2.4 m, con un caudal de salida de 131,332 cfm con 01 ventilador de 150 kcfm instalado en el NV 2520 (CC 28), considerando el circuito desde el NV 1820 hasta superficie (BM Chilcas), ver Tabla 23.

Tabla 23

Sección óptima de 2.4 x 2.4 m, Eje RC 10

Nivel	Descripción	Und.	Corto Plazo		Mediano Plazo	
			2.4 x 2.4 m	2.9 x 2.9 m	2.4 x 2.4 m	2.9 x 2.9 m
RC 12	Caudal salida (Qs)	cfm	122,877	123,711	131,332	132,935
Eje RC 10 (V-150 kcfm)						
2520	Potencia	HP	454.0	452.7	435.8	431.4
	Caudal ventilador	CFM	134,806	135,513	140,861	142,312
	Presión ventilador	"CA	15.7	15.6	14.6	14.3
	Costo Energético	US\$/año	183,889	183,352	176,520	174,724

Fuente: Minera Aurífera Retamas

3.6.8.3 Sección óptima Eje RC 46 (300 kcfm). Con la finalidad de determinar la sección óptima planteada del Eje RC 46, se han realizado simulaciones a corto, mediano y largo plazo, considerando secciones de 2.9 x 2.9 m, 3.0 x 3.0 m, 3.1 x 3.1 m, 3.2 x 3.2 m. y 3.3 x 3.3 m.

Con los valores obtenidos productos de la simulación se determina la sección óptima de 2.9 x 2.9 m, instalando 02 ventiladores extractores de 150 kcfm (en paralelo) en el tope del XC 10107- S, considerando el circuito desde el NV 2520 hasta superficie (BM XC 10107-S), ver Tabla 24.

Tabla 24

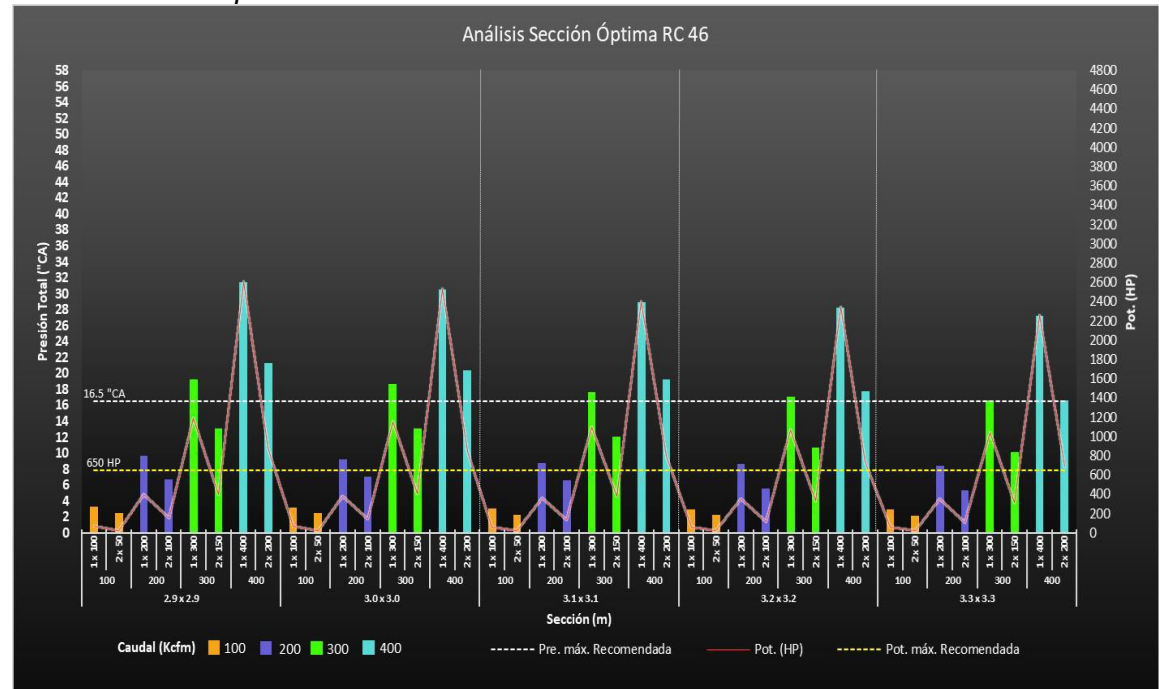
Sección óptima de 2.9 x 2.9 m, Eje RC 46

Sección (m)	Caudal (Kcfm)	Simulación en Ventsim			
		Vent. (Kcfm)	Presión ("CA)	Pot. (HP)	Costo (US\$/año)
2.9 x 2.9	100	1 x 100	3.3	67.6	27,411
		2 x 50	2.5	25.9	10,493
	200	1 x 200	9.6	397.6	161,040
		2 x 100	6.7	154.8	62,737
	300	1 x 300	19.2	1195.5	484,175
		2 x 150	13.1	403.8	163,543
	400	1 x 400	31.4	2609.5	1,056,847
		2 x 200	21.3	881.9	357,182
	100	1 x 100	3.2	65.6	26,561
		2 x 50	2.5	25.1	10,153
3.0 x 3.0	200	1 x 200	9.2	383.9	155,485
		2 x 100	7.1	146.8	59,457
	300	1 x 300	18.6	1156.3	468,288
		2 x 150	13.1	408.2	165,363
	400	1 x 400	30.5	2529.6	1,024,545
		2 x 200	20.4	844.0	341,858
	100	1 x 100	3.1	62.9	25,498
		2 x 50	2.3	23.7	9,618
	200	1 x 200	8.8	364.3	147,543
		2 x 100	6.6	136.8	55,423
3.1 x 3.1	300	1 x 300	17.6	1094.6	443,304
		2 x 150	12.1	376.0	152,289
	400	1 x 400	29.0	2400.6	972,261
		2 x 200	19.2	798.5	323,413
	100	1 x 100	3.0	58.8	25,076
		2 x 50	2.3	23.2	9,397
	200	1 x 200	8.6	355.0	143,785
		2 x 100	5.5	114.6	46,423
	300	1 x 300	17.1	1066.6	431,992
		2 x 150	10.6	330.9	133,995
3.2 x 3.2	400	1 x 400	28.2	2340.3	947,832
		2 x 200	17.8	739.4	299,469
	100	1 x 100	3.0	56.8	23,003
		2 x 50	2.1	22.4	9,070
	200	1 x 200	8.4	348.3	141,070
		2 x 100	5.3	109.9	44,523
	300	1 x 300	16.7	1038.3	420,495
		2 x 150	10.1	316.7	128,262
	400	1 x 400	27.2	2258.5	914,726
		2 x 200	16.6	687.9	278,596

Fuente: Minera Aurífera Retamas

Figura 40

Análisis sección óptima RC 46



Fuente: Elaboración propia

En el Figura 41, se ha realizado el análisis, tomando en cuenta el caudal, presión y potencia del ventilador en operación en relación de la potencia eléctrica instalada, CAPEX y OPEX global. Por lo tanto, se opta por una sección óptima de 2.9 x 2.9 m, instalando 02 ventiladores de 150 kcfm en paralelo, cuya presión de trabajo individual es 13.1 “CA.

Tabla 25

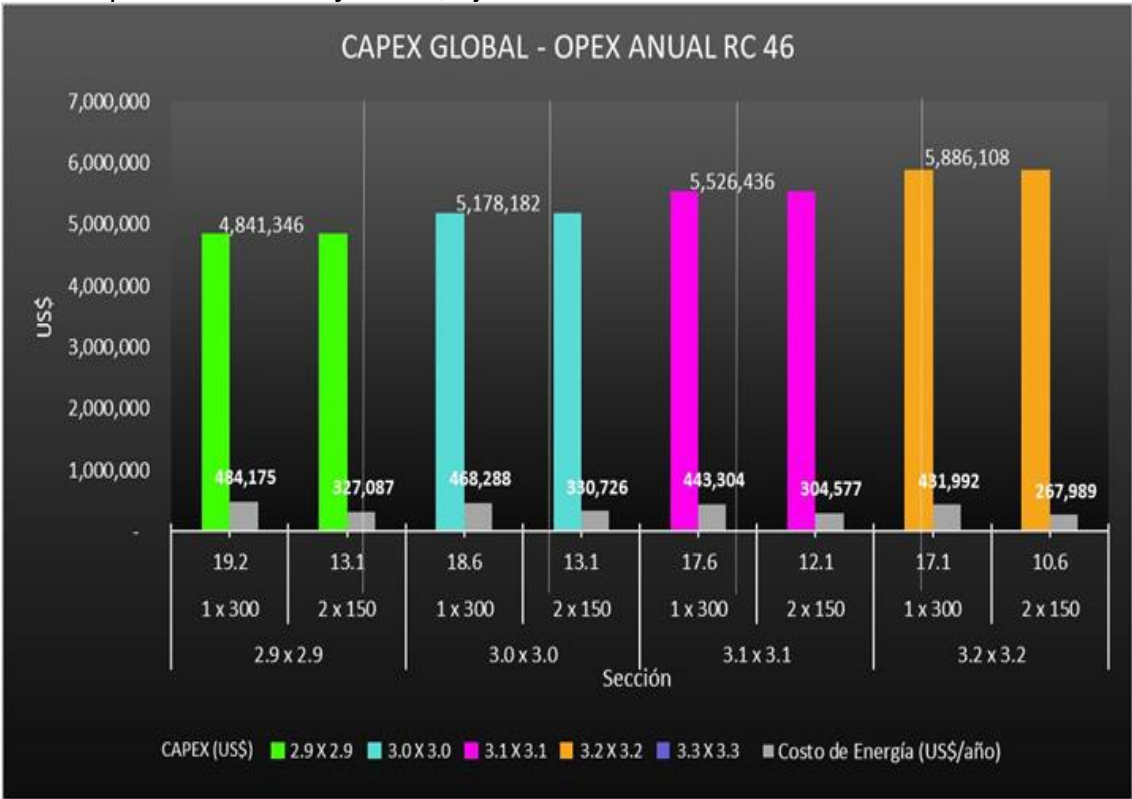
Sección óptima vs. CAPEX, Eje RC 46

SECCIÓN	VENTILADOR			CAPEX (US\$)
	Cant. x Kcfm	Pre. Total (\"CA)	Pot. (HP)	
2.9 x 2.9	1 x 300	19.2	1195.5	484,175
	2 x 150	13.1	403.8	327,087
3.0 x 3.0	1 x 300	18.6	1156.3	468,288
	2 x 150	13.1	408.2	330,726
3.1 x 3.1	1 x 300	17.6	1094.6	443,304
	2 x 150	12.1	376.0	304,577
3.2 x 3.2	1 x 300	17.1	1066.6	431,992
	2 x 150	10.6	330.9	267,989
3.3 x 3.3	1 x 300	17.1	1066.6	420,495
	2 x 150	10.6	330.9	256,525

Fuente: Minera Aurífera Retamas

Figura 41

Sección óptima vs CAPEX y OPEX, Eje RC 46



Fuente: Elaboración propia

3.6.8.4 Sección óptima Eje RC 32 (220 kcfm). Con la finalidad de determinar la sección óptima planteada del Eje RC 32, se han realizado simulaciones a corto y mediano plazo, considerando secciones de 2.9 x 2.9 m, 3.0 x 3.0 m, 3.1 x 3.1 m, 3.2 x 3.2 y 3.3 x 3.3 m

Con los valores obtenidos productos de la simulación se determina la sección óptima de 2.9 x 2.9 m, instalando 02 ventiladores extractores de 110 kcfm (en paralelo) en el NV 2770, considerando el circuito desde el NV 2320 hasta superficie (BM 3280), ver Tabla 26.

Tabla 26

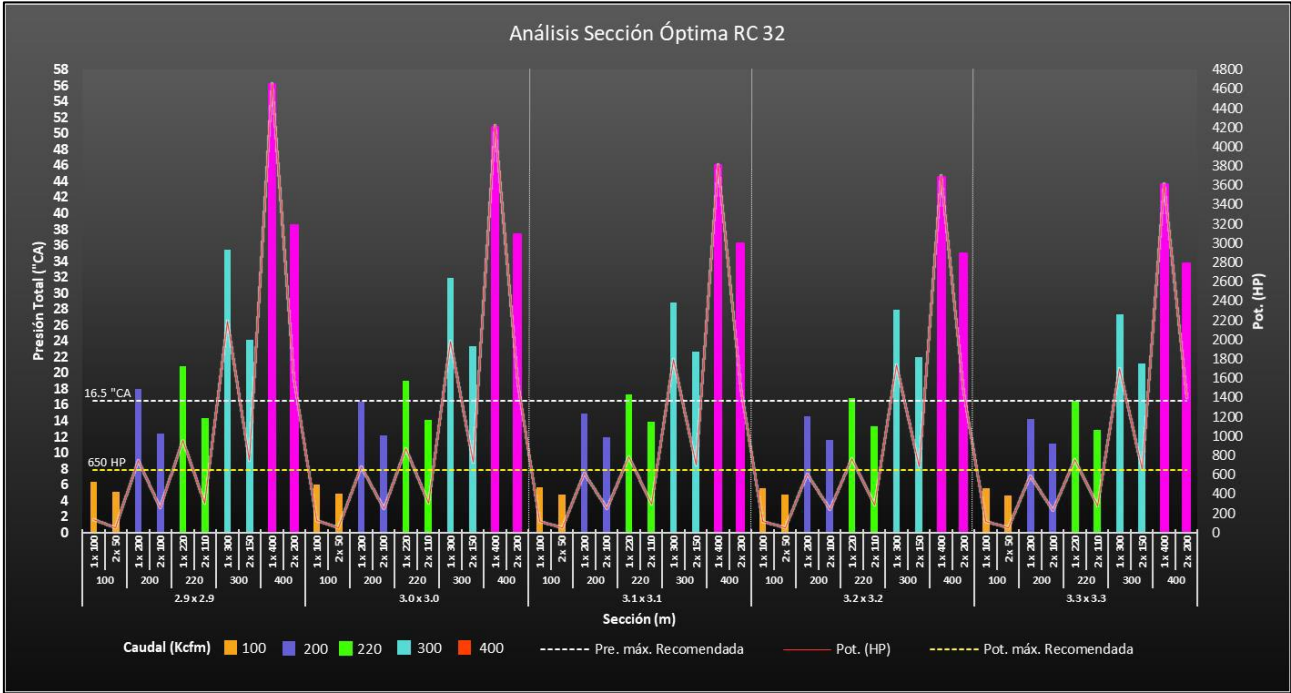
Sección óptima Eje RC 32

Sección (m)	Caudal (Kcfm)	Simulación en Ventsim			
		Vent. (Kcfm)	Presión ("CA)	Pot. (HP)	Costo (US\$/año)
2.9 x 2.9	100	1 x 100	6.4	132.8	53,770
		2 x 50	5.1	51.0	20,665
	200	1 x 200	18.0	748.2	303,029
		2 x 100	12.4	259.2	104,983
	220	1 x 220	20.9	960.9	389,172
		2 x 110	14.3	308.7	125,039
	300	1 x 300	35.4	2196.1	889,479
		2 x 150	24.1	748.2	303,009
	400	1 x 400	56.2	4659.2	1,887,022
		2 x 200	38.5	1598.5	647,387
3.0 x 3.0	100	1 x 100	6.0	124.7	50,497
		2 x 50	4.9	50.7	20,543
	200	1 x 200	16.4	680.3	275,521
		2 x 100	12.2	253.3	102,603
	220	1 x 220	19.0	871.3	352,876
		2 x 110	14.1	303.4	122,873
	300	1 x 300	31.9	1983.9	803,477
		2 x 150	23.4	726.2	294,099
	400	1 x 400	50.9	4217.6	1,708,164
		2 x 200	37.4	1550.5	627,994
3.1 x 3.1	100	1 x 100	5.7	117.1	47,463
		2 x 50	4.8	50.5	20,465
	200	1 x 200	14.9	618.6	250,523
		2 x 100	11.9	247.5	100,245
	220	1 x 220	17.4	790.1	320,010
		2 x 110	13.9	298.2	120,814
	300	1 x 300	28.8	1792.1	725,862
		2 x 150	22.7	704.9	285,467
	400	1 x 400	46.0	3817.8	1,546,252
		2 x 200	36.3	1504.0	609,128
3.2 x 3.2	100	1 x 100	5.5	115.6	46,819
		2 x 50	4.8	49.7	20,097
	200	1 x 200	14.6	603.8	244,540
		2 x 100	11.6	240.1	97,224
	220	1 x 220	16.9	771.0	312,269
		2 x 110	13.4	287.9	116,578
	300	1 x 300	28.0	1742.6	705,783
		2 x 150	21.9	680.7	275,663
	400	1 x 400	44.6	3702.4	1,499,511
		2 x 200	34.9	1449.6	587,119
3.3 x 3.3	100	1 x 100	5.5	113.9	46,111
		2 x 50	4.7	48.4	19,618
	200	1 x 200	14.2	591.4	239,500
		2 x 100	11.2	232.7	94,269
	220	1 x 220	16.5	754.7	305,633
		2 x 110	12.9	277.5	112,379
	300	1 x 300	27.4	1704.3	690,267
		2 x 150	21.2	658.2	266,597
	400	1 x 400	43.6	3621.3	1,466,684
		2 x 200	33.7	1401.2	567,498

Fuente: Minera Aurífera Retamas

Figura 42

Análisis sección óptima RC 32



Fuente: Elaboración propia

En el Figura 43, se ha realizado el análisis, tomando en cuenta el caudal, presión y potencia del ventilador en operación en relación de la potencia eléctrica instalada, CAPEX y OPEX global. Por lo tanto, se opta por una sección óptima de 2.9 x 2.9 m, instalando 02 ventiladores de 110 kcfm en paralelo, cuya presión de trabajo individual es 14.3 “CA.

Tabla 27

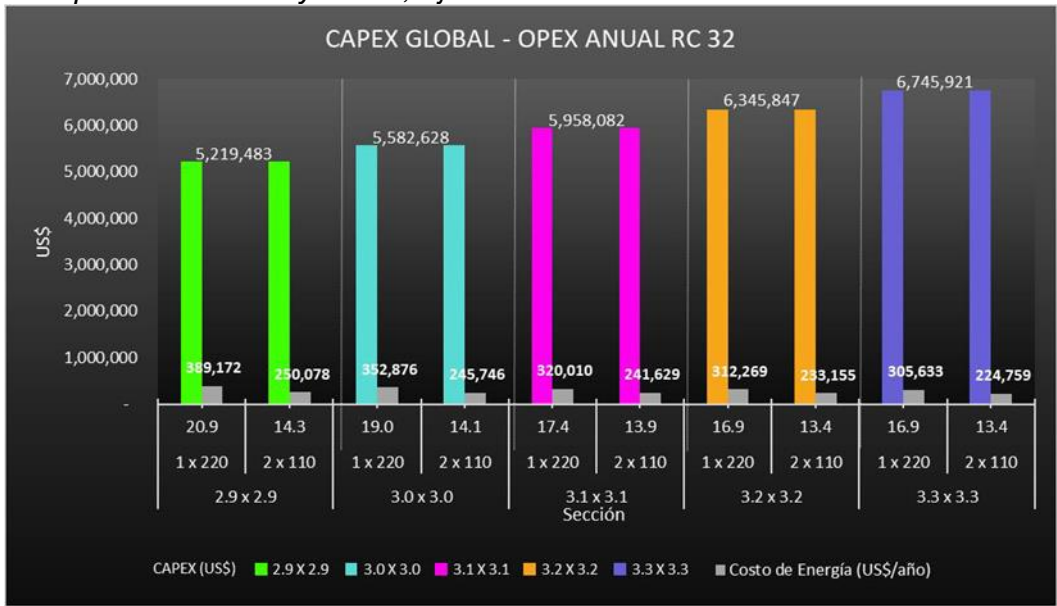
Sección óptima vs. CAPEX, Eje RC 32

SECCIÓN	VENTILADOR			Costo de Energía (US\$/año)	CAPEX (US\$)
	Cant. x Kcfm	Pre. Total (\"CA)	Pot. (HP)		
2.9 x 2.9	1 x 220	20.9	960.9	389,172	5,219,483
	2 x 110	14.3	308.7	250,078	5,219,483
3.0 x 3.0	1 x 220	19.0	871.3	352,876	5,582,628
	2 x 110	14.1	303.4	245,746	5,582,628
3.1 x 3.1	1 x 220	17.4	790.1	320,010	5,958,082
	2 x 110	13.9	298.2	241,629	5,958,082
3.2 x 3.2	1 x 220	16.9	771.0	312,269	6,345,847
	2 x 110	13.4	287.9	233,155	6,345,847
3.3 x 3.3	1 x 220	16.9	771.0	305,633	6,745,921
	2 x 110	13.4	287.9	224,759	6,745,921

Fuente: Minera Aurífera Retamas

Figura 43

Sección óptima vs CAPEX y OPEX, Eje RC 32



Fuente: Elaboración propia

3.6.8.5 Sección óptima Eje RC 43 (140 kcfm). Con la finalidad de determinar la sección óptima planteada del Eje RC 43, se han realizado simulaciones a corto, mediano y largo plazo, considerando secciones de 2.4 x 2.4 m y 2.9 x 2.9 m.

En la Tabla 28, se muestran los comparativos de caudal, presión y potencia en relación a secciones de 2.4 x 2.4 m y 2.9 x 2.9 m, con el funcionamiento del ventilador (V 133) de 150 kcfm instalado en el NV 2620, considerando el circuito desde el NV 2070 hasta superficie RB 12 (Curva 15).

Tabla 28

Sección óptima de 2.4 x 2.4 m vs 2.9 x 2.9 m, Eje RC 43

Nivel	Descripción	Und.	Corto plazo		Var. (Δ)	Mediano plazo		Var. (Δ)	Largo plazo		Var. (Δ)
			2.4 x 2.4 m	2.9 x 2.9 m		2.4 x 2.4 m	2.9 x 2.9 m		2.4 x 2.4 m	2.9 x 2.9 m	
RC 43-RB 12	Caudal de salida (Qs)	cfm	105,228	105,281	53.00	94,481	94,714	-10,514.00	98,150	98,320	-6,908.00
Eje RC 43 (V-150 kcfm)											
2620	Potencia	HP	420.4	420.1	-0.3	426.5	425.6	5.2	421.9	421.0	0.6
	Caudal ventilador	CFM	136,147 14.5	136,249 14.5	102.00 0.0	130,041 15.2	130,631 15.2	-5,516.00 0.7	119,140 14.7	135,041 14.7	-1,106.00 0.2
	Presión ventilador	"CA	170,254	170,152	-102.00	172,747	172,374	2,120.00	170,865	170,514	260.00
	Costo energético	US\$/año	420.4	420.1	-0.3	426.5	425.6	5.2	421.9	421.0	0.6

Fuente: Minera Aurífera Retamas

Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados

4.1 Análisis económico CAPEX y OPEX de los proyectos

El costo de inversión por proyectos de ventilación a corto plazo es US\$ 6,344,467 a mediano plazo es US\$ 26,610,239 y a largo plazo es US\$ 13'277,073. Ver Tabla 29, Tabla 30 y Tabla 31.

- El costo de inversión global por Ejes nuevos con una cobertura al 100% es US\$ 40,030,836.
- El costo de inversión global incluyendo Ejes nuevos y existentes, asciende a US\$ 46,165,076.
- El costo de inversión por proyección de Ejes existentes es US\$ 6,134,240.

Tabla 29

Costo de inversión a corto plazo (2020)

Costo de inversión a corto plazo (2020)											
Proy.	Desc.	Nivel Inf.	Nivel Sup.	Cant.	Caudal (cfm)	Pot. (HP)	Pres. ("C.A.)	Vetas	Long. (m)	Inversión (US\$)	Por. (%)
RB 03	Ventilador	3220		1	110,000	350	13.1	Cabana	-	46,695	
	Sub Total									46,695	0.7%
	Crucero	3220		-	-	-	-	BB,	117	87,797	
RC 05	Ventilador	3220		1	110000	410	11.8	Daniela	-	46,695	
	Sub Total									134,492	2.1%
	Ventilador	2950		1	200,000	500	12	Valeria	-	306,904	
RB 11	Ventilador	2770		1	200,000	500	12	Esperanza	-	306,904	
	Sub Total									306,904	4.8%
XC 10230 - SE	Cruceros	2520		-	-	-	-	-	89	148,274	
	Sub Total									148,274	2.3%
BP 10250- SE	Ventilador			1	60,000			Cabana		28,269	
	Sub Total									28,269	0.4%
	RC 12-I	2195	2320	-	-	-	-	Daniela T	116.7	597,271	
	RC 12-II	2170	2195	-	-	-	-		43.8	224,168	
	Cruceros	2320		-	-	-	-		20	15,008	
RC 12	Ventilador	2170	2195	4	30,000	97	16		-	101,335	
	Sub Total									937,782	14.8%
RC 10	Cruceros	2420		-	-	-	-	-	203.5	152,706	
	Sub Total									152,706	2.4%
RC 32	Cruceros	2570	2770	-	-	-	-	-	735.1	1,224,677	
	Sub Total									1,224,677	19.3%
	Cruceros	2170	2220	-	-	-	-	Daniela T	320	240,128	
	RC 43-I	2220	2245	-	-	-	-		25	127,950	
RC 43	RC 43-II	2200	2220	-	-	-	-		22	112,596	
	Sub Total									480,674	7.6%
	XC 3410	3410		-	-	-	-	Cabana Codiciada	240	577,858	
	Cruceros	2870		-	-	-	-		488.8	366,796	
RC 46	Ventiladores	3410		3	60,000	150	8		-	228,814	
	RC 46-III	2870	2950	-	-	-	-		90.5	527,525	
	Sub Total									1,700,992	26.8%
RC 47	Cruceros	2320	2470	-	-	-	-	-	630	1,049,580	
	Sub Total									1,049,580	16.5%
RC 48	Cruceros	2870		-	-	-	-	-	177.8	133,421	
	Sub Total									133,421	2.1%
INVERSIÓN CORTO PLAZO (US\$)										6,344,467	100%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 30
Costo de inversión a mediano plazo (2021 – 2022)

Proy.	Desc.	Nivel Inf.	Nivel Sup.	Cant.	Caudal (cfm)	Pot. (HP)	Pres. ("C.A.)	Vetas	Long. (m)	Inversión (US\$)	Por. (%)
RC 10	Cruceros	2120		-	-	-	-	Cachaco Daniela Cabana	534	400,714	
	RC 10-V	2195	2420	-	-	-	-		232.8	1,191,470	
	Sub Total									1,592,184	6.0%
RC 32	Cruceros	2520	2920	-	-	-	-	BB	236	176,625	
	RC 32-I	2570	2670	-	-	-	-		100	582,900	
	RC 32-II	2320	2520	-	-	-	-		199.2	1,161,137	
	RC 32-III	2520	2570	-	-	-	-		54	314,766	
	RC 32-IV	2670	2770	-	-	-	-		102.6	598,055	
	RC 32-V	2770	2950	-	-	-	-		202.8	1,182,121	
	RC 32-VI	2950	3200	-	-	-	-		300	1,748,700	
	Ventilador	3220		1	110,000	350	15		-	125,984	
										5,890,289	22.1%
RC 43	Cruceros	2120		-	-	-	-	Daniela T	240	180,321	
	RC 43-III	2170	2200	-	-	-	-		28	143,304	
	RC 43-IV	2120	2170	-	-	-	-		44	225,192	
Sub Total										548,817	2.1%
RC 46	XC 3410	3410		-	-	-	-	Cabana Codiciada	1112	2,677,407	
	RC 46-II	2950	3175	-	-	-	-		189.7	1,105,761	
	Sub Total									3,783,168	14.2%
RC 47	Cruceros	2170	3075	-	-	-	-	Cachaco Cabana Daniela BB AA	480	799,680	
	RC 47-I	2520	2720	-	-	-	-		154	897,666	
	RC 47-II	2420	2520	-	-	-	-		52	303,108	
	RC 47-III	2120	2180	-	-	-	-		145	845,205	
	RC 47-VII	2180	2270	-	-	-	-		115.6	673,832	
	RC 47-VIII	2270	2420	-	-	-	-		151	880,179	
	RC 47-XI	2720	2870	-	-	-	-		86	501,294	
Sub Total										4,900,964	18.4%
RC 48	Rampa	3220		-	-	-	-	Cabana Esperanza	2,112	7,168,128	
	Cruceros	2520	3125	-	-	-	-		593.2	444,900	
	RC 48-I	2520	2720	-	-	-	-		200	1,165,800	
	RC 48-II	2720	2870	-	-	-	-		152.2	887,174	
	Ventiladores	3220		3	60,000	170	11		-	228,814	
Sub Total										9,894,816	37.2%
INVERSIÓN MEDIANO PLAZO (US\$)										26,610,239	100%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 31

Costo de inversión a largo plazo (2023 – 2027)

Costo de inversión a largo plazo (2020 - 2027)											
Proy.	Desc.	Nivel Inf.	Nivel Sup.	Cant.	Caudal (cfm)	Pot. (HP)	Pres. ("C.A.)	Vetas	Long. (m)	Inversión (US\$)	Por. (%)
RC 10	Cruceros	2020		-	-	-	-	Cachaco Daniela Cabana	207	155,333	
	RC 10-VI	2120	2195	-	-	-	-		68	348,024	
Sub Total										503,357	7.1%
RC 12	Cruceros	2080		-	-	-	-	Daniela T	75	56,280	
	RC 12-III	2070	2170	-	-	-	-		78	399,204	
	Ventilador	2070		2	30,000	85	12		-	50,668	
Sub Total										506,152	7.2%
RC 32	Ventilador	3220		1	110,000	350	15	BB	-	125,984	
	Sub Total										125,984
RC 43	Cruceros	2080		-	-	-	-	Daniela T	79	59,282	
	RC 43-V	2070	2120	-	-	-	-		40	204,720	
	Sub Total										264,002
RC 46	RC 46-I	2070	2120	-	-	-	-	Cabana Codiciada	230	1,340,670	
	Ventilador	3410		2	150,000	500	15		-	587,902	
	Sub Total										1,928,572
RC 47	Cruceros	3175		-	-	-	-	Cachaco Cabana Daniela BB AA	175.3	292,050	
	RC 47-IX	2020	2120	-	-	-	-		146	851,034	
	RC 47-XI	2950	3175	-	-	-	-		213	1,241,577	
	Sub Total										2,384,661
RC 48	RC 48-III	2870	3175	-	-	-	-	Cabana Esperanza	233.9	1,363,403	
	Sub Total										1,363,403
INVERSIÓN LARGO PLAZO - COB. 100% (US\$)										7,076,130	100%
INVERSIÓN COB. 100% (US\$)										40,030,836	86.7%
RC 10	RC 10-IX	1820	1920	-	-	-	-	Cachaco Daniela BB Cabana	100	511,800	
	RC 10-VII	2020	2120	-	-	-	-		106	542,508	
	RC 10-VIII	1920	2020	-	-	-	-		100	511,800	
	Sub Total										1,566,108
RC 46	Cruceros	2720		-	-	-	-	Cabana Codiciada	367.6	275,847	
	RC 46-IV	2770	2870	-	-	-	-		102.5	597,473	
	RC 46-V	2620	2770	-	-	-	-		150	874,350	
	RC 46-VI	2520	2620	-	-	-	-		101.5	591,644	
Sub Total										2,339,313	38.1%
RC 47	Cruceros	1820	2120	-	-	-	-	Cachaco Cabana Daniela BB AA	249.7	416,000	
	RC 47-IV	2870	2950	-	-	-	-		111	647,019	
	RC 47-V	1820	1920	-	-	-	-		108	629,532	
	RC 47-VI	1920	2020	-	-	-	-		92	536,268	
Sub Total										2,228,819	36.3%
INVERSIÓN LARGO PLAZO (US\$)										13,210,370	100%
INVERSIÓN PROFUNDIZACIÓN EJES (US\$)										6,134,240	13.3%
INVERSIÓN TOTAL (US\$)										46,165,076	100%

Fuente: Elaboración propia

4.2 Resumen de entradas y salidas de aire

Los ingresos de aire y la cobertura han sido calculados en función de los ejes que integran el sistema de ventilación global. Por ende, no se han considerado los circuitos independientes como XC 10107-S y RP 3220 hasta mediano.

- A corto plazo el ingreso de aire es 796,179 cfm, la salida de aire es 828,716 cfm y la cobertura es del 70%.
- A mediano plazo el ingreso de aire es 834,794 cfm, la salida de aire es 875,122 cfm y la cobertura es 74%.
- A largo plazo el ingreso de aire es 1,169,022 cfm, la salida de aire es 1,215,196 cfm y la cobertura es 104%.

Tabla 32

Resumen de ingresos de aire por etapas

Resumen de Ingresos de Aire por Etapas																								
Ítem	Proy.	Ubicación		Tránsito de Personal	Sección				Actual		Simulación Ventsim													
		Nivel	Labor		Ancho (m)	Alto (m)	Forma	Área (m²)	Dic. 2019		Corto Plazo (2020)			Mediano Plazo (2021-2022)			Largo Plazo (2023-2027)							
									Vel. (m/min)	Caudal (cfm)	Vel. (m/min)	Caudal (cfm)	Var.	Vel. (m/min)	Caudal (cfm)	Var.	Vel. (m/min)	Caudal (cfm)	Var.					
1	EXISTE	3170	RP Patrick	NO	3.90	4.61	Baúl	16.9	505	300,558	681	407,064	35%	753	450,091	50%	619	369,564	23%					
2	EXISTE	3170	RP Paralela	SI	3.00	3.10	Baúl	8.7	175	53,911	245	75,287	40%	179	55,174	2%	148	45,426	-16%					
3	EXISTE	3220	BM. 3220	SI	2.44	2.70	Baúl	6.2	255	55,721	186	40,498	-27%	192	41,896	-25%	176	38,408	-31%					
4	EXISTE	3220	RP 10230-N	NO	4.24	3.83	Baúl	15.2	266	143,268	458	273,330	91%	482	287,633	101%	421	250,926	75%					
5	EXISTE	3410	RB 03 - Pomachay	NO	1.80	-	Circular	2.5	78	18,738	*	*	*	*	*	*	*	*	*					
6	EXISTE	3410	Aguas Limpias	NO	2.47	2.34	Baúl	5.4	45	8,692	*	*	*	*	*	*	*	*	*					
7	NUEVO	3220	RP 3220	NO	4.00	4.50	Baúl	16.9	*	*	*	*	*	100	59,316	*	375	223,206	*					
8	NUEVO	3410	XC 3410 - RC 46	NO	4.00	4.50	Baúl	16.9	*	*	*	*	*	107	63,825	*	*	*	*					
9	NUEVO	3170	BM 3170 - RC 47	NO	4.00	4.50	Baúl	16.9	*	*	*	*	*	*	*	*	324	193,240	*					
10	EXISTE	3720	RC 05 (RB 01)	NO	1.60	-	Circular	2.0	*	*	*	*	*	*	*	*	680	48,252	*					
TOTAL									*	580,888	*	796,179	37%	*	834,794	44%	*	1,169,022	101%					
Déficit/Superavit									-		-		-		-		39,547							
REQ. AIRE ACTUAL (cfm)									1,084,936		Cobert.	53.54%												
REQ. AIRE PROYECTADO (cfm)									1,129,475		Cobert.	*		70%	*	*	74%	*	*	104%	*			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 33

Resumen de salidas de aire por etapas

Resumen de caudales de aire por etapas																			
Ítem	Proy.	Ubicación		Tránsito de Personal	Sección				Actual		Simulación Ventsim								
		Nivel	Labor		Ancho (m)	Alto (m)	Forma	Área (m²)	Dic. 2019		Corto Plazo (2020)			Mediano Plazo (2021-2022)			Largo Plazo (2023-2027)		
									Vel. (m/min)	Caudal (cfm)	Vel. (m/min)	Caudal (cfm)	Var.	Vel. (m/min)	Caudal (cfm)	Var.	Vel. (m/min)	Caudal (cfm)	Var.
1	EXISTE	3340	RB 12 - RC 43	2.16	-	Circular	3.7	761	98,434	819	105,985	8%	805	104,118	6%	831	107,550	9%	3340
2	EXISTE	3410	RB 11	2.25	-	Circular	4.0	913	128,151	1,432	201,090	57%	1,254	176,067	37%	885	124,204	-3%	3410
3	EXISTE	3410	San Vicente	2.43	2.45	Baúl	5.6	651	128,424	599	128,797	0%	847	182,207	42%	598	126,722	-1%	3410
4	EXISTE	3220	BM Chilcas	2.32	2.80	Baúl	6.1	642	138,204	620	133,239	-4%	609	130,940	-5%	613	131,738	-5%	3220
5	EXISTE	2950	BM Far West	2.44	2.56	Baúl	5.9	450	93,111	497	111,774	20%	494	111,116	19%	500	112,449	21%	2950
6	EXISTE	3900	RB 03 - Pomachay	1.80	-	Circular	2.5	*	*	778	69,899	*	772	69,392	*	781	70,203	*	3900
7	NUEVO	3720	RC 05 (RB 01)	1.60	-	Circular	2.0	*	*	1,098	77,932	*	1,104	78,393	*	*	*	*	3720
8	NUEVO	3410	XC 3410 - RC 46	4.00	4.50	Baúl	16.9	*	*	*	*	*	*	*	*	530	315,801	*	3410
9	NUEVO	3200	RC 32	3.00	3.00	Cuadrada	9.0	*	*	*	*	*	240	142,889	*	380	226,529	*	3200
10	EXISTE	3220	RP 3220	4.00	4.50	Baúl	16.9	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	3220
TOTAL									*	586,323	*	828,716	41%	*	875,122	49%	*	1,215,196	107%

Fuente: Elaboración propia

4.3 Cobertura de aire por zonas

En la Tabla 34, se muestra el resumen del balance y cobertura de aire zonificado por Etapas. Estas coberturas están sujetas considerando requerimiento de aire por temperaturas ($> 23\text{ }^{\circ}\text{C}$). Por ello, en la medida que los Proyectos van ir desarrollándose, las temperaturas de las labores bajarán, en este caso ya los niveles no consideran requerimiento de aire por temperaturas y la cobertura de aire incrementa.

Tabla 34

Balance y cobertura de aire zonificado por Etapas (2020 – 2023)

ITEM	ZONA	Q REQ. PROYECTADO (CFM)				ACTUAL DIC. 2019				CORTO PLAZO (2020)			MEDIANO PLAZO (2021-2022)			LARGO PLAZO (2023-2027)		
		Q per.	Q. Equ.	Q. Temp.	Q. fugas	Q. Req.	Q. ing.	Q Def.	Cob. (%)	Q. ing.	Q Def.	Cob. (%)	Q. ing.	Q Def.	Cob. (%)	Q. ing.	Q Def.	Cob. (%)
1	San Vicente						29,000	-29,000			0			0			0	
2	Chilcas Rp Patrick I	41,671	134,489		26,424	202,585	86,500	116,085	43%	207,529	-4,944	102%	186,057	16,528	92%	216,782	-14,197	107%
3	Valeria I Rp Patrick II	43,084	56,972	34,962	20,253	155,271	38,500	116,771	25%	121,139	34,132	78%	151,543	3,728	98%	157,932	-2,661	102%
4	Valeria II Rp Patrick II	21,542	56,972	23,308	21,399	123,222	35,000	88,222	28%	68,238	54,984	55%	74,309	48,913	60%	125,583	-2,361	102%
5	Valeria III Rp Patrick	31,430	98,913	58,270	20,873	209,487	151,500	57,987	72%	158,817	50,670	76%	192,338	17,149	92%	226,157	-16,670	108%
6	Valeria IV Rp Patrick	23,308	112,470	81,578	40,022	257,378	171,000	86,378	66%	155,253	102,125	60%	106,087	151,291	41%	260,642	-3,264	101%
7	Valeria V Rp Patrick V	16,598	117,949	23,308	23,678	181,533	73,000	108,533	40%	81,252	100,281	45%	123,525	58,008	68%	182,596	-1,063	101%
TOTAL		177,633	577,767	221,426	152,650	1,129,475	584,500	544,975	53.87%	792,228	337,247	70%	833,859	295,616	74%	1,169,692	-40,217	104%

Fuente: Elaboración propia

4.4 Indicadores y KPI de ventilación por etapas

En la Tabla 35, se muestra el resumen de los parámetros en el sistema de ventilación principal.

Para este análisis, se han considerado los valores de la simulación global en Ventsim por Etapas. Dado que, se desarrollarán nuevas labores como RP 3220 y XC 10107-S que actúan como circuitos independientes a corto y mediano plazo, mientras en largo plazo estos circuitos conforman la red completa en el sistema de ventilación global de la U.M. “San Andrés”.

Tabla 35

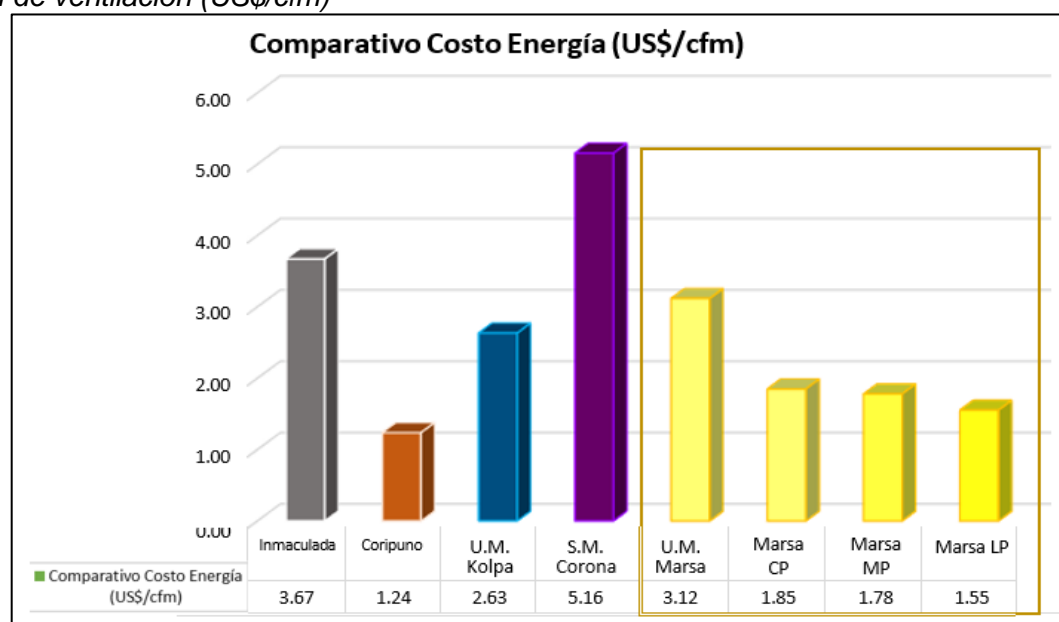
Análisis de ventilación principal por etapas

ÍTEM	UNIDAD	ACTUAL	CORTO PLAZO 2020	MEDIANO PLAZO 2021 – 2022	LARGO PLAZO 2023 – 2027
Caudal de ingreso (Qi)	cfm	580,888	796,179	834,794	1,169,022
Caudal req. (Qr)	cfm	1,084,936	1,129,475	1,129,475	1,129,475
Cobertura	%	53.54%	70%	74%	104%
Déficit	cfm	-504,048.10	-333,296.00	-294,681.00	39,547.00
Costo de Energía	US\$/año	1,811,791	1,472,970	1,486,858	1,817,178
KPI	US\$/cfm	3.12	1.85	1.78	1.55

Fuente: Elaboración propia

Figura 44

KPI de ventilación (US\$/cfm)



Fuente: Elaboración propia

4.5 Especificaciones técnicas de los ventiladores propuestos

A continuación, se indican la lista de los ventiladores a adquirir con sus características caudal, presión, potencia con un costo de inversión CAPEX US\$ 912,254 y OPEX US\$ 965,812 cuya suma asciende a US\$ 1'878,065.

Se plantean adquirir ventiladores a corto plazo (3x60 kcfm), (4x30 kcfm); mediano plazo (3x60 kcfm), (2x30 kcfm), (1x110 kcfm) y largo plazo (2x150 kcfm).

Tabla 36

Costo de inversión y especificaciones técnicas de los ventiladores

Etap	Tipo	Cant.	Unid.	Nivel	Caudal (cfm)	Presión ("C.A.)	Pot. (HP)	Proy.	P.U. (US\$/Cant.)	CAPEX	OPEX	CAPEX + OPEX	%
CP	Reubicación	1	eq.	3220	110,000	11.8	237.4	RC 05			46,695	46,695	40%
	Reubicación	1	eq.	3220	110,000	13.1	245.4	RB 03			46,695	46,695	
	Reubicación	2	eq.	950 - 27	200,000	15	650	RB 11			306,904	306,904	
	Reubicación	1	eq.	3125	60,000	8	146	BP 10250-SE			28,269	28,269	
	Adquisición	3	eq.	3410	60,000	7.9	150	XC 3410	48,002	144,006	84,808	228,814	
	Adquisición	4	eq.	170-212	30,000	16.4	111	RC 12	15,944	63,776	37,559	101,335	
TOTAL CP										207,782	550,932	758,714	
MP	Adquisición	3	eq.	3220	60,000	10.7	167.3	RP 3220	48,002	144,005	84,808	228,814	22%
	Adquisición	2	eq.	1970	30,000	11	88	RC 12	15,944	31,888	18,780	50,668	
	Adquisición	1	eq.	2770	110,000	14.5	350	RC 32	79,289	79,289	46,695	125,984	
TOTAL MP										255,183	150,283	405,466	
LP	Adquisición	1	eq.	2770	110,000	14.5	350	RC 32	79,289	79,289	46,695	125,984	38%
	Adquisición	2	eq.	3410	150,000	15	500	RC 46	185,000	370,000	217,902	587,902	
TOTAL LP										449,289	264,597	713,886	
COSTO TOTAL DE INVERSION (US\$)												1,878,065	100%

Fuente: Elaboración propia

4.6 Ruta crítica de los proyectos planteados

En el Figura 45, se muestra la ruta crítica de los proyectos de ventilación a corto (año 2020), mediano (2021-22) y largo plazo (2023-27), cuyo inicio es desde el tercer trimestre del presente año (01/08/2020) hasta el tercer trimestre del 2027 (20/07/2027).

Figura 45

Ruta crítica de los proyectos de ventilación

Proy.	Etapa	Fecha Inicio	Fecha Fin	Tiempo (meses)	2020			2021			2022			2023			2024			2025			2026			2027		
					T-2	T-3	T-4	T-1	T-2	T-3	T-4	T-1	T-2	T-3	T-4	T-1	T-2	T-3	T-4	T-1	T-2	T-3	T-4	T-1	T-2	T-3	T-4	T-1
RC 12	C.P.	1/08/2020	16/10/2020	3																								
	M.P.	25/09/2022	28/04/2023	7																								
RC 10	C.P.	1/08/2020	10/11/2020	3																								
	M.P.	30/01/2021	25/02/2023	25																								
	L.P.	9/05/2023	20/07/2027	51																								
RC 46	C.P.	3/08/2020	20/01/2021	6																								
	M.P.	1/10/2020	23/10/2023	37																								
	L.P.	1/01/2023	18/09/2026	45																								
RC 32	C.P.	1/08/2020	14/01/2021	6																								
	M.P.	1/01/2021	23/09/2022	21																								
RC 47	C.P.	1/08/2020	20/05/2021	10																								
	M.P.	9/03/2021	14/04/2023	26																								
	L.P.	10/09/2023	28/05/2027	45																								
RC 43	C.P.	1/08/2020	13/04/2021	9																								
	M.P.	12/06/2021	3/03/2023	21																								
	L.P.	5/05/2023	10/08/2023	3																								
RC 48	C.P.	1/08/2020	31/12/2020	5																								
	M.P.	1/01/2021	19/03/2023	27																								
	L.P.	27/01/2023	1/09/2023	7																								
XC 10230-SE	C.P.	1/08/2020	1/10/2020	2																								

Fuente Elaboración propia

4.7 Validación de hipótesis

Para la validación de hipótesis, se evaluará la cobertura de aire en mina en las distintas zonas de operación, comparando con la cobertura proyectada en el corto, mediano y largo plazo. Se usará el software Minitab para la evaluación. En la Tabla 37, se muestra el resumen de coberturas por zonas.

Tabla 37

Resumen de cobertura de aire por zonas

ZONA	COBERTURA DE AIRE			
	ACTUAL (DIC 2019)	CORTO PLAZO (2020)	MEDIANO PLAZO (2021 – 2022)	LARGO PLAZO (2023 – 2027)
Chilcas Rp Patrick I	43%	102%	92%	107%
Valeria I Rp Patrick II	25%	78%	98%	102%
Valeria II Rp Patrick II	28%	55%	60%	102%
Valeria III Rp Patrick	72%	76%	92%	108%
Valeria IV Rp Patrick	66%	60%	41%	101%
Valeria V Rp Patrick V	40%	45%	68%	101%
Total	53.87%	70%	74%	104%

Fuente Elaboración propia

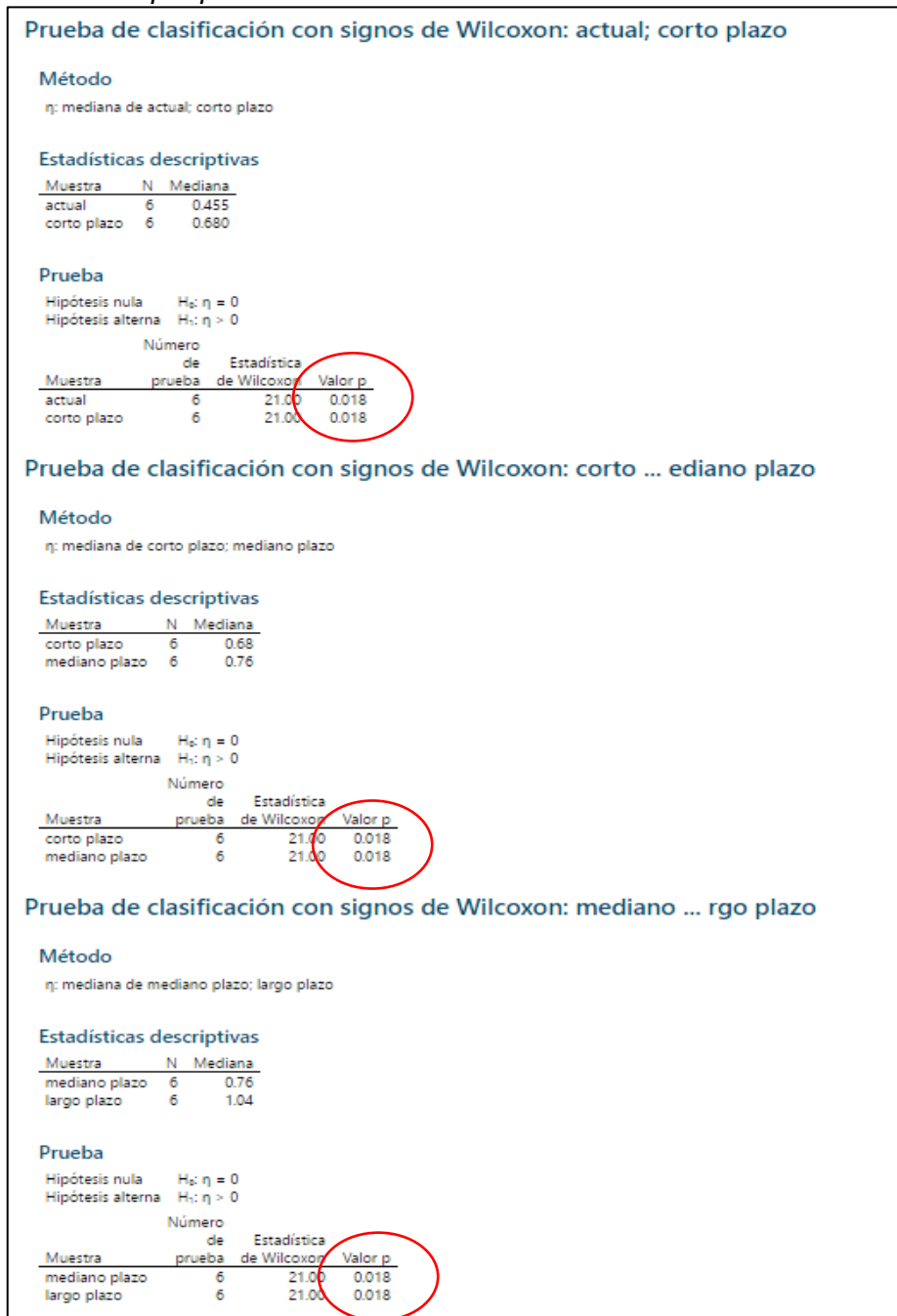
Dado que los datos por zonas son independientes y no afecta directamente en las otras zonas, podemos concluir que los datos son no paramétricos, por lo que se usara la prueba de Wilcoxon; comparando los datos de la actualidad con el corto plazo, corto con mediano plazo y mediano con largo plazo.

Empezamos planteando la hipótesis nula y alternativa con un grado de significancia de 5%, así mismo el número de pruebas es 06 dada la cantidad de zonas de cobertura.

- Hipótesis Nula (H_0) El análisis del sistema de ventilación, no permitirá incrementar la exploración, desarrollo y la productividad de la producción de finos de oro en minas subterráneas.
- Hipótesis Alternativa (H_A): El análisis del sistema de ventilación, permitirá incrementar la exploración, desarrollo y la productividad de la producción de finos de oro en minas subterráneas.

Figura 46

Prueba de Wilcoxon por pares analizados



Fuente Minitab

Dado que el “valor-p” calculado en los tres casos analizados es menor a 0.05, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa. Por lo tanto, el análisis del sistema de ventilación, permitirá incrementar la exploración, desarrollo y la productividad de la producción de finos de oro en minas subterráneas.

Conclusiones

La planificación de los diseños y simulaciones en Ventsim se dividió en tres fases temporales: una fase inicial a corto plazo (mayo-diciembre 2020), una fase intermedia a mediano plazo (2021-2022) y una fase final a largo plazo (2023-2027).

Se diseñaron siete proyectos de ventilación: tres para el ingreso de aire fresco (RC 12, RC 48, RC 47) y cuatro para la extracción de aire viciado (RC 32, RC 10, RC 43, RC 46), cada uno con dimensiones y longitudes específicas.

Utilizando el modelo 3D de Ventsim, se realizaron simulaciones basadas en secuencias planificadas, las cuales arrojaron resultados relativos al caudal necesario, la entrada de aire y la cobertura. Se destaca que, en el escenario a largo plazo, se alcanzó una cobertura del 104%.

La conexión de los ejes principales RC 46 y RC 32, implementada a mediano plazo, logra una cobertura del 74%. Al incorporar los ejes RC 48 y RC 47 a largo plazo, la cobertura aumenta al 104%. La inversión de capital necesaria para estos proyectos es de US\$ 40,030,836 hasta noviembre de 2023.

Se planea adquirir ventiladores por un total de US\$ 912,254 (1.98% del presupuesto total de inversión) para mejorar la ventilación. La compra incluye dos ventiladores principales de 110,000 cfm (aprox. 51.9 m³/s) cada uno, dos ventiladores adicionales de 150,000 cfm (aprox. 70.8 m³/s) cada uno, y doce ventiladores auxiliares: seis de 30,000 cfm (aprox. 14.16 m³/s) y seis de 60,000 cfm (aprox. 28.32 m³/s).

El sistema de ventilación actual, con sus secciones RC de 2.4 x 2.4 metros, tiene la capacidad de transportar hasta 150,000 pies cúbicos de aire por minuto (kcfm).

La inversión total del proyecto, de US\$ 46,165,076 con una vida útil de 10 años, se distribuirá en tres fases: 13.7% (US\$ 6,344,467) a corto plazo, 57.6% (US\$ 26,610,239) a mediano plazo y 28.6% (US\$ 13,210,370) a largo plazo, durante un periodo de 7 años.

El proyecto resultará en un aumento en el caudal de aire de 580,888 cfm a 1,169,022 cfm, lo que representa un incremento del 104% y un superávit de 39,547 cfm.

Este incremento en el caudal de aire tendrá un impacto mínimo en el costo de energía anual, pasando de US\$ 1,811,791 a US\$ 1,817,178.

Se planea la construcción de un total de 2,206 metros para el ingreso de aire y 2,617.7 metros para la salida de aire.

El indicador clave de rendimiento (KPI) actual, que mide el costo por pie cúbico de aire por minuto (cfm), es de 3.12 US\$. Al completar los proyectos, se espera una reducción significativa a 1.55 US\$/cfm, lo que indica una mejora en la eficiencia.

Se determinó la sección óptima de las chimeneas simuladas: RC 12 (2.4x2.4 m), RC 48 (2.9x2.9 m), RC 47 (2.9x2.9 m), RC 32 (2.9x2.9 m), RC 10 (2.4x2.4 m), RC 43 (2.4x2.4 m) y RC 46 (2.9x2.9 m).

Recomendaciones

Es fundamental monitorear de cerca el progreso de los proyectos, asegurando que se cumplan los plazos establecidos. Esto garantizará que se alcance la cobertura de aire del 104% prevista a largo plazo.

Se debe priorizar la apertura de los ejes XC 10107-S (extracción de aire viciado) y RP 3220 (inyección de aire fresco), ya que son esenciales para el sistema de ventilación.

Se recomienda adquirir ventiladores principales que cuenten con certificación de calidad y que cumplan con las especificaciones técnicas recomendadas por la consultora. Además, se sugiere tener ventiladores de repuesto (dos juegos) con diferentes capacidades (200 kcfm, 150 kcfm, 110 kcfm, 60 kcfm, 30 kcfm y 18 kcfm).

Aunque la construcción de nuevos ejes de ventilación requiere una inversión significativa, esta se verá compensada a largo plazo por la reducción en el consumo energético y la mejora sustancial en el sistema de ventilación, asegurando el cumplimiento de la normativa vigente (D.S. N° 024-2016-EM y su modificatoria).

Se aconseja construir chimeneas auxiliares cada 400-500 metros para optimizar la ventilación y reducir la temperatura en 2-3 °C.

Para mejorar la ventilación, se deben construir nuevos ejes e instalar ventiladores de extracción, preferiblemente en la superficie, para generar una depresión en el sistema.

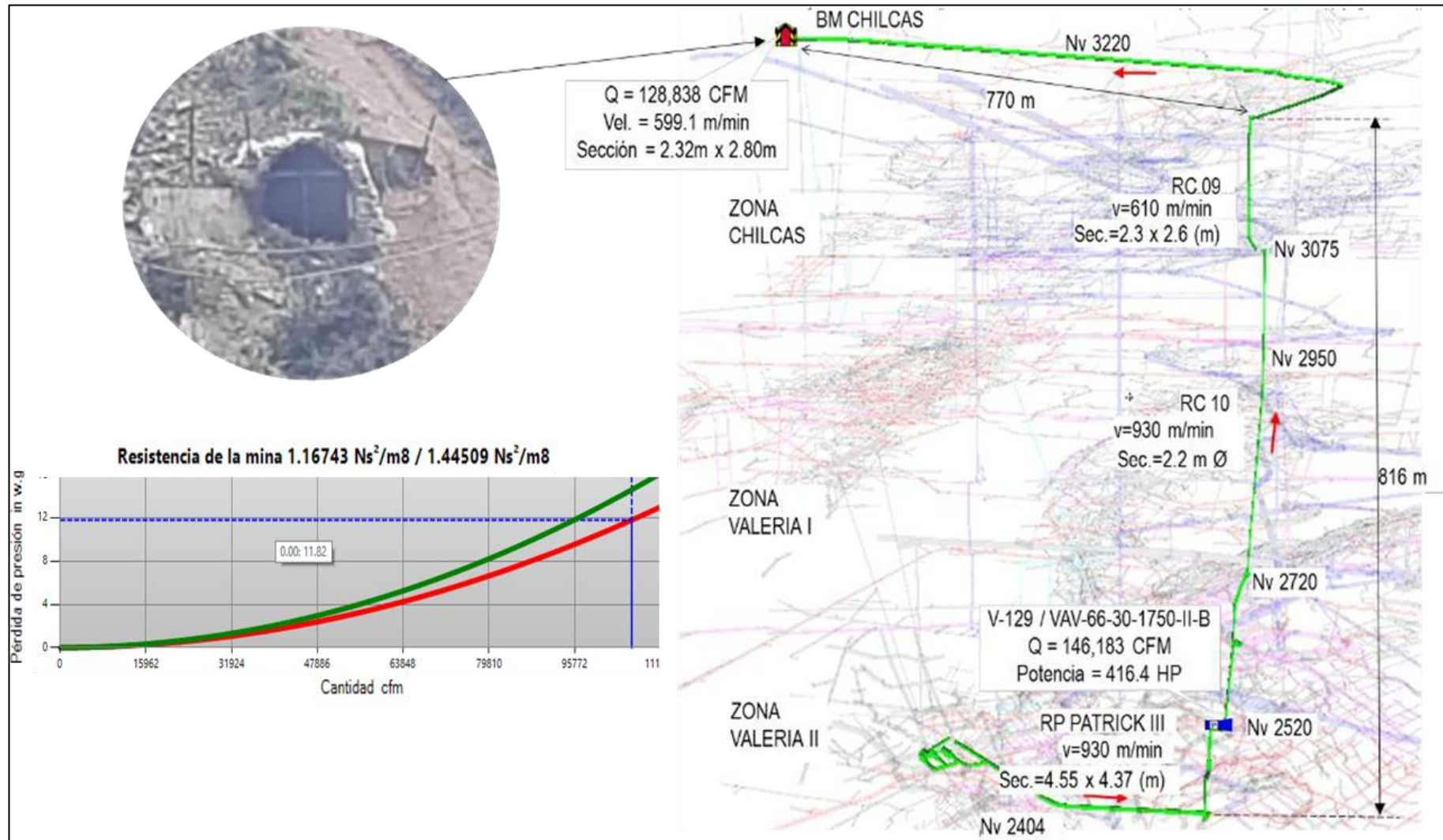
Referencias bibliográficas

- Bustamante, M. et al (2017), *“Simulación en el software VENTSIM™ de la influencia de la implementación de sellamientos en labores abandonadas en la ventilación de una mina subterránea de carbón”*
- Caxi. Y. (2017), *“Estudio de ventilación e implementación de mejoras en el circuito de ventilación de Minera Sotrami S.A. – UEA Santa Filomena – aplicando el Software Ventsim”*
- Coral, D. (2024), *“Ampliación de la capacidad del circuito de ventilación para incrementar la cobertura de aire subterráneo en la Mina Contonga de Tierra Group International Ltd.”.*
- Hartman, H. et al (2012), *“Mine Ventilation and Air Conditioning”.*
- Huamani, J. (2020), *“Mejoramiento del sistema de ventilación subterránea de la Mina Condor IV, Minera El Palacio del Cóndor S.A.C.”.*
- Ibáñez, V. (2018), *“Diseño del sistema de ventilación en el NV 4050 Veta Don Ernesto Unidad Minera el Porvenir – MILPO”.*
- Mallma, B. (2023), *“Implementación del software Ventsim para optimizar el sistema de ventilación en el nivel Caira 4 de la mina Huinac Huaraz - 2023”*
- McPherson, M. J. (1993), *“Subsurface Ventilation and Environmental Engineering”.*
- Morales, N. (2023), *“Propuesta de sistema de ventilación para Mina Chépica minera Paicaví, Penciahue Chile”*
- Quispe, E. (2022), *“Diseño del circuito de ventilación mediante el Software Ventsim en Compañía Minera Kolpa S.A. - Unidad Minera - Huachocolpa Uno”.*
- Ricse, R. (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”.*
- Sanhueza, E. (2020), *“Proyecto de diseño técnico y económico de sistema de ventilación de Mina Trinidad, Lebu”*

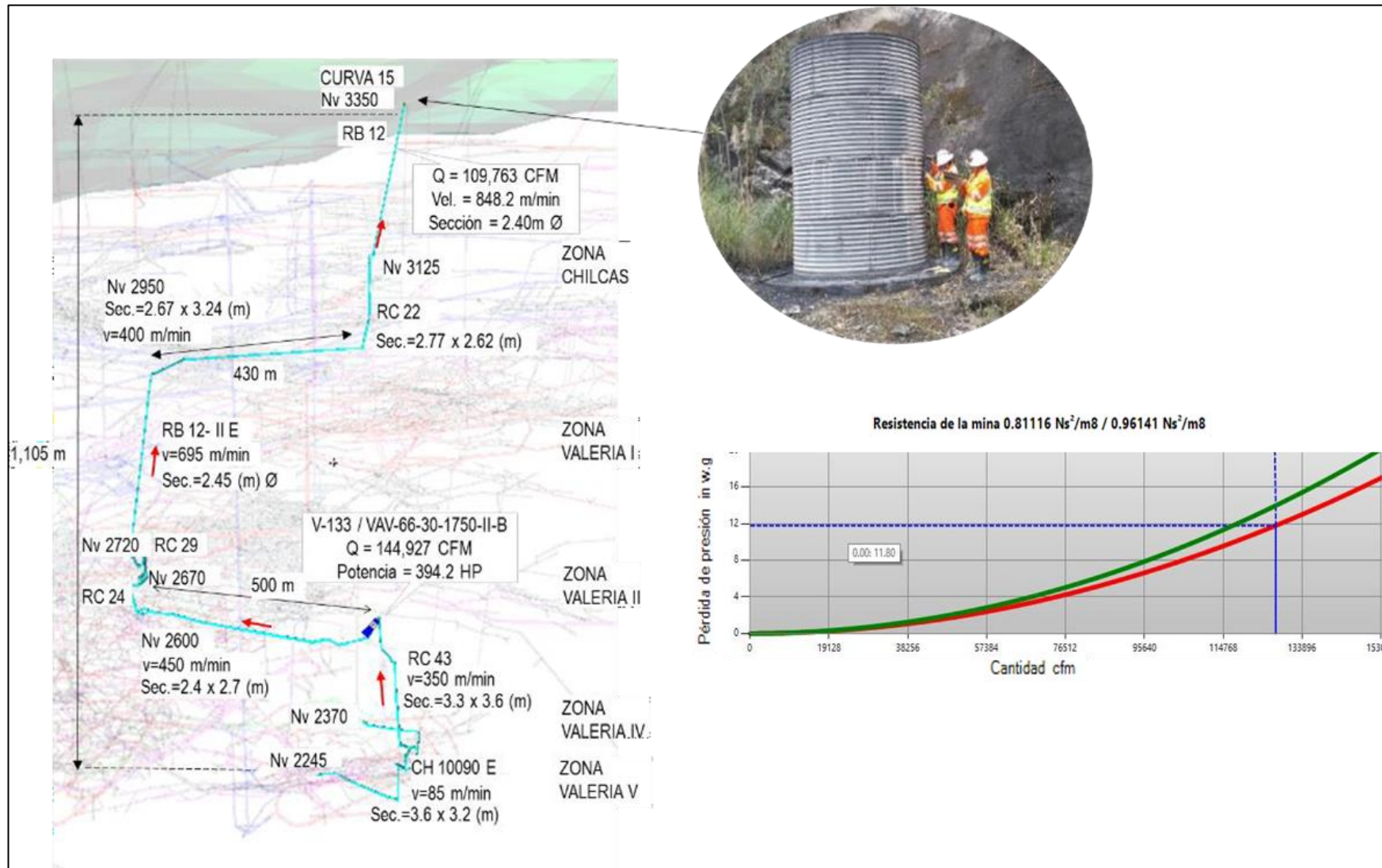
Anexos

	Pág.
Anexo 1: Vista isométrica Circuito RC 10.....	1
Anexo 2: Vista isométrica Circuito RC 43.....	2
Anexo 3: Vista isométrica Circuito RB 11.....	3
Anexo 4: Vista isométrica Circuito San Vicente.....	4
Anexo 5: Vista isométrica Circuito FAR WEST	5
Anexo 6: Vista del sistema de ventilación general de la mina – Zona Millón 1 y 2	6
Anexo 7: Vista del sistema de ventilación general de la mina – Zona Cachaco	7
Anexo 8: Vista del sistema de ventilación general de la mina – Zona Veta BB	8
Anexo 9: Equipos e instrumento de medición	9

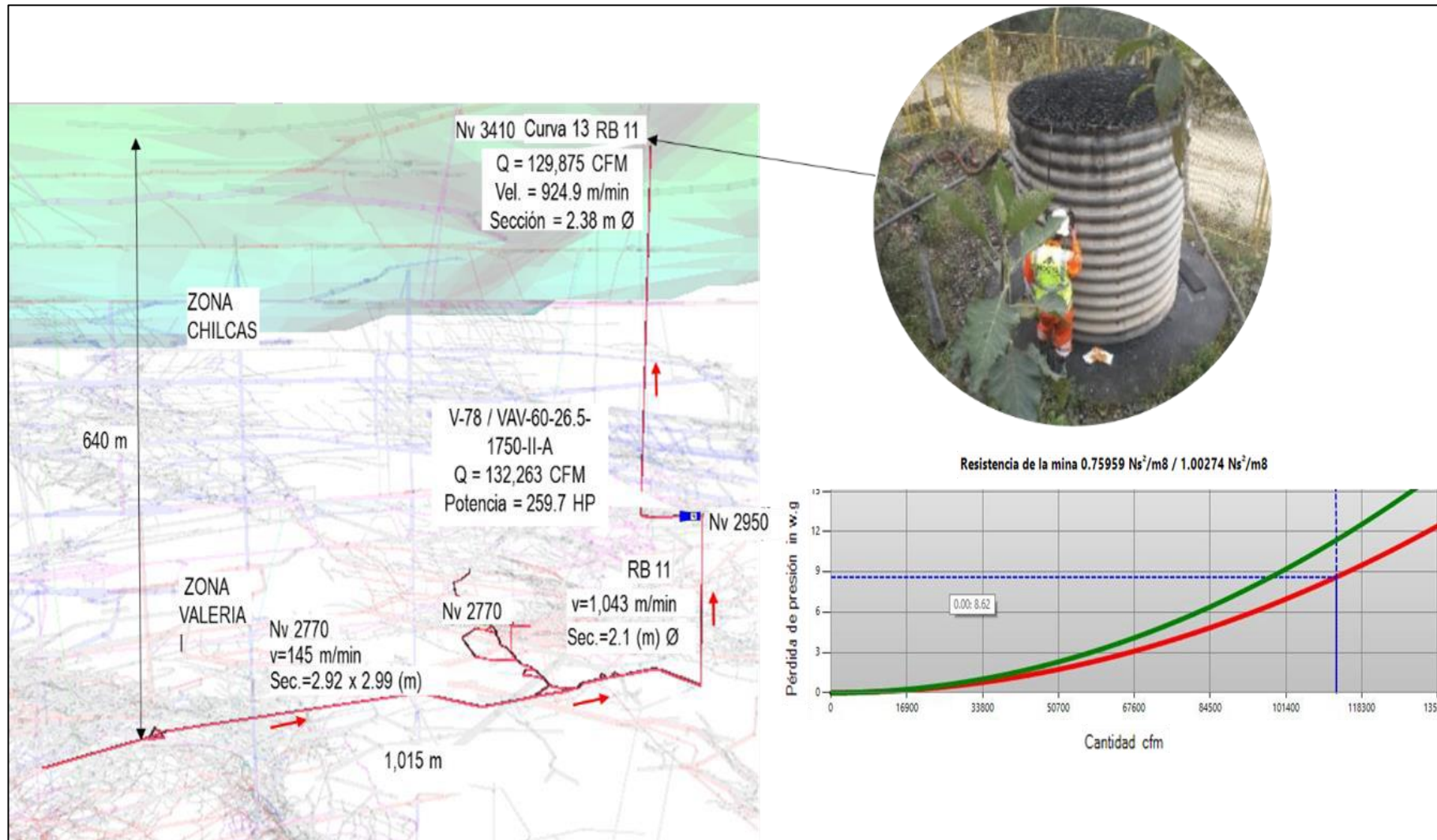
Anexo 1: Vista isométrica Circuito RC 10



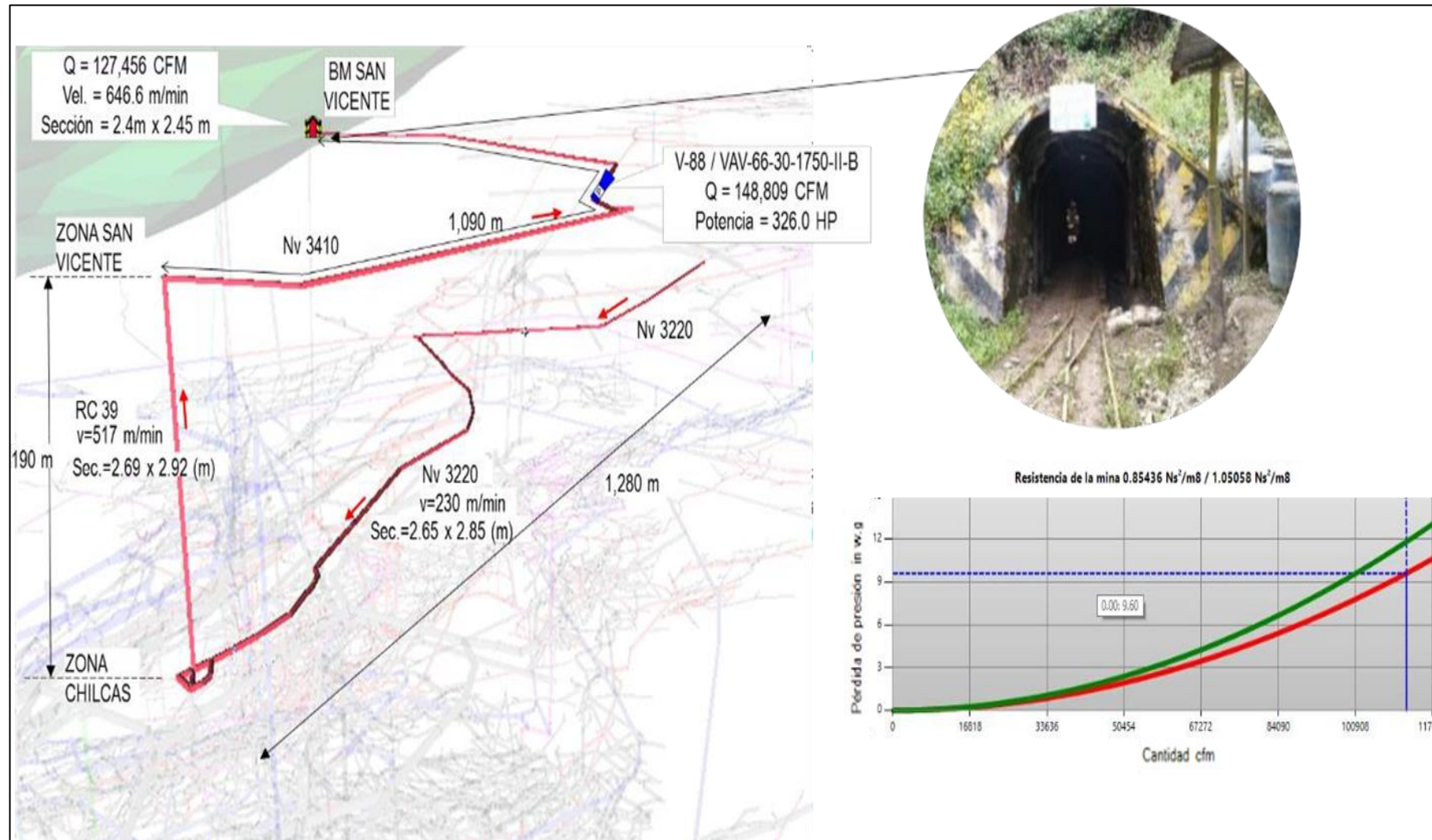
Anexo 2: Vista isométrica Circuito RC 43



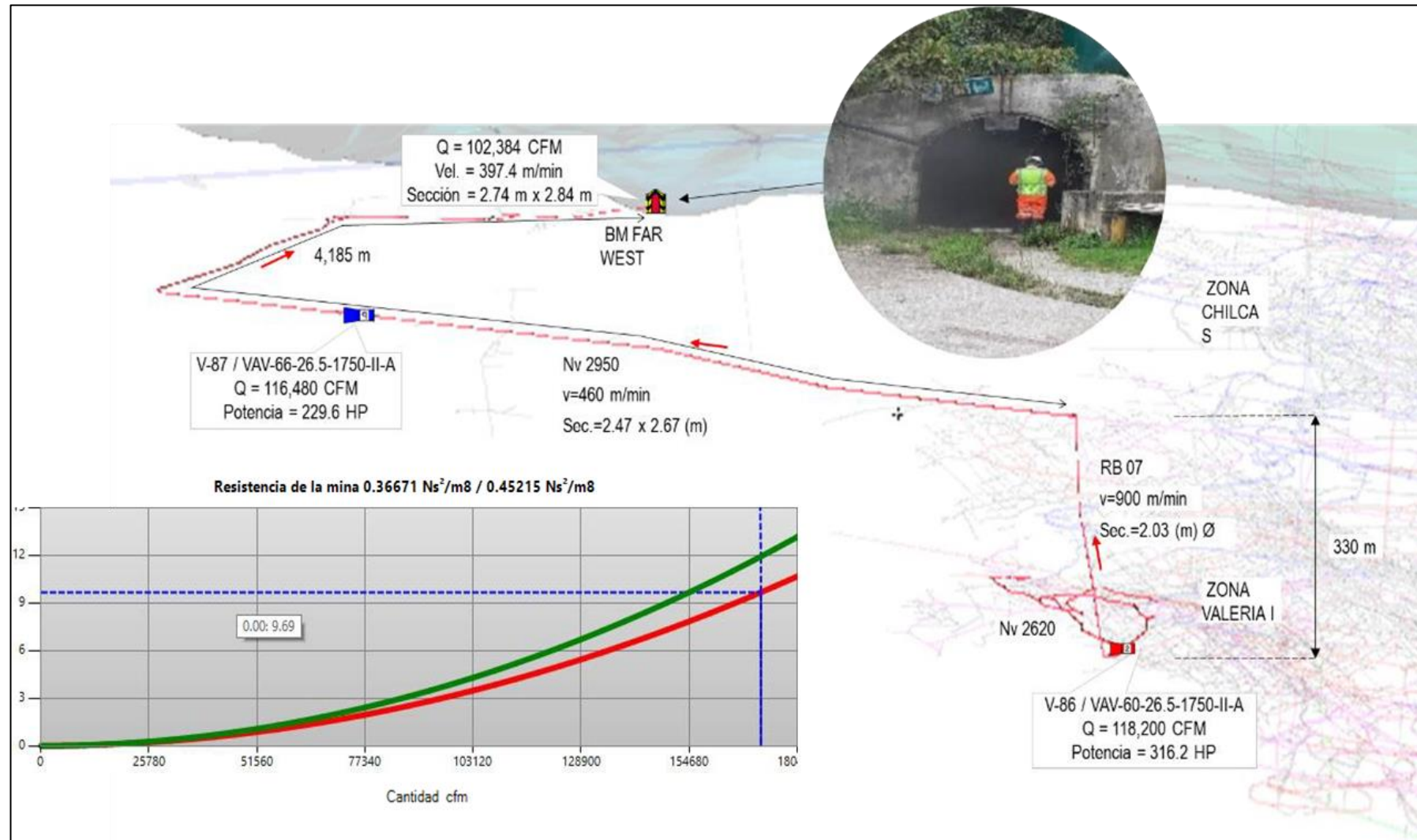
Anexo 3: Vista isométrica Circuito RB 11



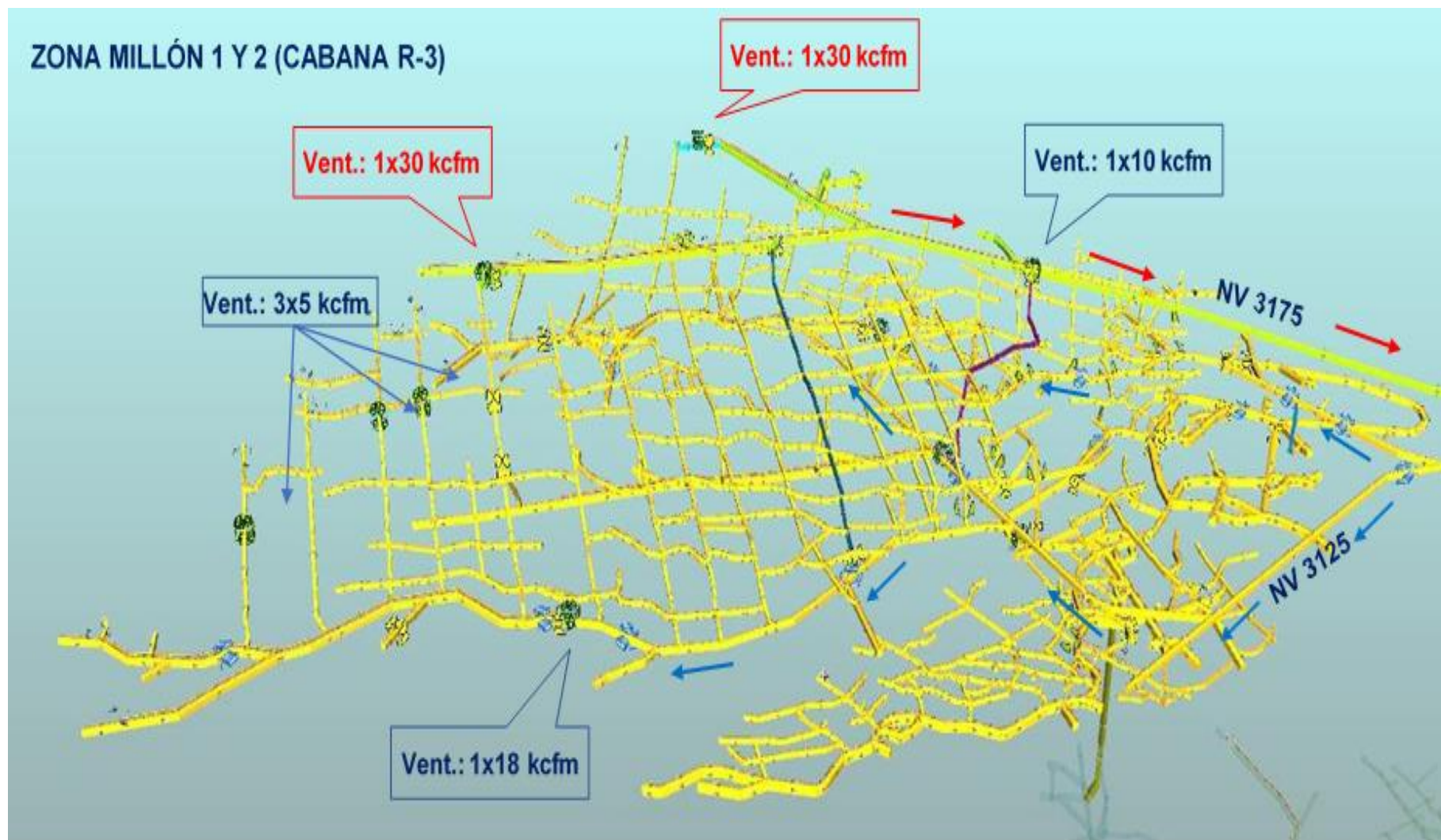
Anexo 4: Vista isométrica Circuito San Vicente



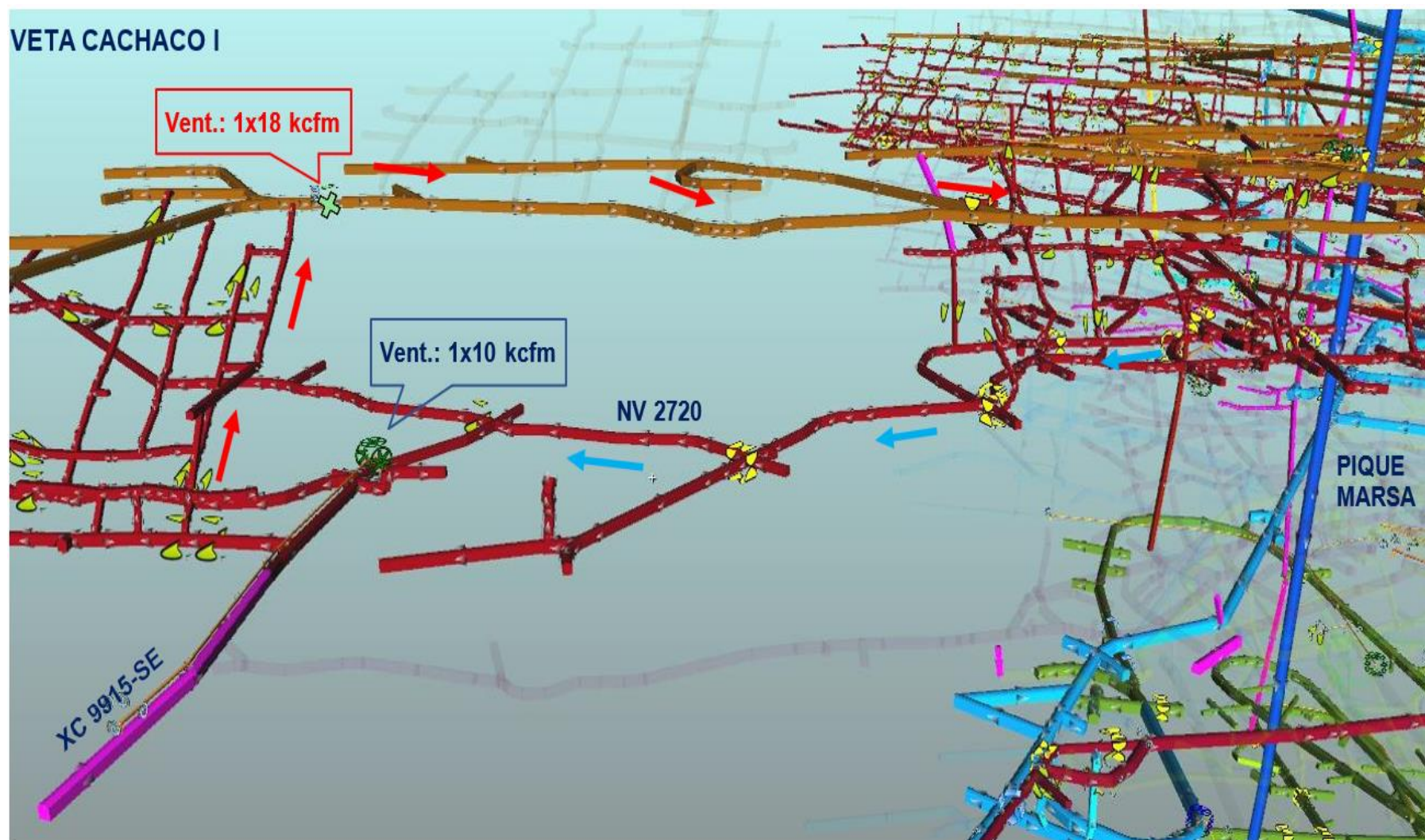
Anexo 5: Vista isométrica Circuito FAR WEST



Anexo 6: Vista del sistema de ventilación general de la mina – Zona Millón 1 y 2



Anexo 7: Vista del sistema de ventilación general de la mina – Zona Cachaco



Anexo 8: Vista del sistema de ventilación general de la mina – Zona Veta BB



Anexo 9: Equipos e instrumentos de medición

