

Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica




TESIS

**Estudio, diseño y optimización del sistema de ventilación actual
y proyectada con el Software Ventsim™ Design de una unidad
minera subterránea**

Para obtener el título profesional de Ingeniero de Minas.


Elaborado por

Erika Yuliana Hernandez Arancel

 0009-0000-0835-2770

Asesor

MBA. Victor Manuel Hernandez Diaz

 0000-0002-6505-0733

LIMA – PERÚ

2024

Citar/How to cite	Hernandez Arancel [1]
Referencia/Reference	[1] E. Hernandez Arancel, “ <i>Estudio, diseño y optimización del sistema de ventilación actual y proyectada con el Software Ventsim™ Design de una unidad minera subterránea</i> ” [Tesis de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2023.
Estilo/Style: IEEE 2020)	

Citar/How to cite	(Hernandez, 2023)
Referencia/Reference	Hernandez, E. (2023). <i>Estudio, diseño y optimización del sistema de ventilación actual y proyectada con el Software Ventsim™ Design de una unidad minera subterránea</i> . [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

A Dios por darme la vida, a mis padres David Hernandez y Marina Arancel, mi esposo John Polo y Luana mi pequeña hija por ser mi inspiración en seguir adelante.

Agradecimientos

Mi gratitud a la Universidad Nacional de Ingeniería, mi querida Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica, docentes quienes contribuyeron en mi formación profesional.

A la empresa Contratistas Generales Noova S.A.C por su apoyo y disposición para el desarrollo de la presente tesis, a mi jefe de proyectos por la confianza brindada desde un inicio.

Resumen

Se analizaron 14 ingresos de aire fresco y 10 salidas de aire viciado y 34 estaciones secundarias; se midió velocidades de aire, concentraciones de gases, condiciones termo ambientales y la dirección del flujo de aire. Se evaluaron las condiciones actuales de operación con el siguiente resultado: La ventilación de la Mina es por “tiro natural”, se tiene un **Total de 296,510 cfm de ingreso de aire fresco y 301,970 cfm de salida de aire usado.**

El **requerimiento de Aire actual es 173,826 cfm**, cumpliéndose con una **Cobertura real de 171%**, nos indica que si cumple con su Requerimiento de aire según el D.S. N°. 024-2016-EM y su Modificatoria D.S. N°. 023-2017-EM; sin embargo, la distribución del flujo de aire, no es la correcta, así como también las velocidades del aire mínimo debe de ser 25 m/min por el **uso de ANFO.**

A corto plazo, se deberá cambiar a un sistema de ventilación forzado, para ello se plantearon proyectos, el cual requería la adquisición e instalación de los siguientes ventiladores: (02) 80k cfm, (01) 60k cfm y la instalación de una compuerta en la GL 06E del Nv 4530 con la finalidad que se direcciona el flujo correctamente.

A mediano plazo, se plantean proyectos para la Zona Carmen y Ore Sorting e instalación de los siguientes ventiladores: (01) 80k cfm en el RB 01, (01) 80k cfm en el RB 02 y otro de 150k cfm en el RB 03. Con estos proyectos planteados se proyecta un CAPEX de 834,403 US\$.

Palabras claves — dirección de flujo de aire, requerimiento de aire fresco, cobertura de aire, velocidad de aire.

Abstract

14 fresh air inlets and 10 stale air outlets and 34 secondary stations were analyzed; Air velocities, gas concentrations, thermo-environmental conditions and the direction of air flow were measured. The current operating conditions were evaluated with the following result: The ventilation of the Mine is by “natural draft”, there is a Total of 296,510 cfm of fresh air intake and 301,970 cfm of used air output.

The current Air requirement is 173,826 cfm, complying with a real Coverage of 171%, it tells us that if it meets its Air Requirement according to the D.S. 024-2016-EM and its Modifying D.S.N°. 023-2017-EM; However, the distribution of the air flow is not correct, as well as the minimum air speeds must be 25 m/min due to the use of ANFO.

In the short term, it will be necessary to change to a forced ventilation system, for this projects are proposed, which required the acquisition and installation of the following fans: (02) 80k cfm, (01) 60k cfm and the installation of a damper in the GL 06E of Lv 4530 in order to direct the flow correctly.

In the medium term, projects are proposed for the Carmen and Ore Sorting Zone and installation of the following fans: (01) 80k cfm in RB 01, (01) 80k cfm in RB 02 and another 150k cfm in RB 03. With these proposed projects, a CAPEX of 834,403 US\$ is projected.

Keywords — air flow direction, fresh air requirement, air coverage, air velocity.

Tabla de contenido

	Pág.
Resumen	v
Abstract	vi
Introducción	xv
Capítulo I. Parte introductoria del trabajo	1
1.1 Descripción y formulación del problema	1
1.1.1 Descripción del problema	1
1.1.2 Formulación del problema	1
1.1.3 Problema general	2
1.1.4 Problema específico	2
1.2 Objetivos	2
1.2.1 Objetivo general	2
1.2.2 Objetivos específicos	2
1.3 Justificación e importancia	2
1.4 Hipótesis	3
1.4.1 Hipótesis general	3
1.4.2 Hipótesis específicas	3
Capítulo II. Marcos teórico y conceptual	4
2.1 Antecedentes referenciales	4
2.1.1 A nivel internacional	4
2.1.2 A nivel nacional	4
2.1.3 A nivel operacional	4
2.2 Definición de términos	5
2.2.1 Atmósfera de mina	5
2.2.2 Gases de minas	5
2.2.3 Ventilación subterránea	8
2.2.4 Tipos de ventilación	8

2.2.5	Sistemas de ventilación	9
2.2.6	Ventilador	11
2.2.7	Normas legales que sustenten el estudio	16
2.2.8	Ley de la continuidad de flujo	21
2.2.9	Ley cuadrática	21
2.2.10	Resistencia de Atkinson.....	22
2.3	Definición de términos.....	22
Capitulo III. Desarrollo del trabajo de investigación.....		24
3.1	Diseño metodología	24
3.2	Población y muestra.....	24
3.2.1	Población.....	24
3.2.2	Muestra	24
3.3	Definición de variables	24
3.3.1	Variable independiente	24
3.3.2	Variable dependiente.....	24
3.4	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	25
3.4.1	Técnicas	25
3.4.2	Equipos y herramientas	25
3.5	Ubicación del proyecto	26
3.6	Accesibilidad	27
3.7	Geología del yacimiento.....	27
3.8	Plan de minado detallado sector subterráneo	28
3.8.1	Recursos Minerales	28
3.8.2	Reservas Minerales	29
3.9	Método de explotación	29
3.9.1	Criterios de Diseño de Mina.....	29
3.9.2	Elección del método de minado	30
3.9.3	Operaciones unitarias en minado subterráneo.....	32

Capitulo IV. Análisis y discusión de los resultados.....	35
4.1 Sistema de ventilación actual.....	35
4.1.1 Levantamiento de ventilación	35
4.1.2 Análisis de velocidad de aire	39
4.1.3 Análisis de los EVS en los Nv 4460, 4475, 4515 y 4530.....	41
4.1.4 Análisis de temperatura	43
4.1.5 Cálculo de requerimiento de aire	44
4.1.6 Balance de ventilación actual	48
4.1.7 Requerimiento y cobertura por zonas	53
4.1.8 Gradiente geotérmico	61
4.1.9 Costo de energía actual.....	61
4.2 Modelamiento del sistema de ventilación en Ventsim Design.....	64
4.2.1 Calibración del Modelo 3D Ventsim	65
4.2.2 Comprobación de hipótesis	66
4.3 Presentación y discusión de resultados	72
4.3.1 Proyectos de ventilación a corto plazo (6 meses)	73
4.3.2 Simulación del nuevo sistema de ventilación mediante Ventsim.....	79
4.3.3 Proyectos de ventilación a mediano plazo (3 años)	82
4.3.4 Selección de diámetro optimo- Método algebraico.....	95
4.3.5 Selección de diámetro optimo - Proyectos de ventilación a mediano plazo	96
4.3.6 Cobertura de aire a mediano plazo.....	104
4.3.7 Capex y Opex a mediano plazo	104
4.3.8 Consumo de energía proyectado.....	108
4.3.9 Resumen de análisis de resultados	112
Conclusiones	113
Recomendaciones	115
Referencias bibliográficas	116
Anexos	1

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1: Atmosfera mina	5
Tabla 2: Clasificación de los gases más comunes en minas subterráneas	6
Tabla 3: Factor de producción de acuerdo con el consumo de madera	18
Tabla 4: Velocidad mínima por temperatura	18
Tabla 5: Factor de producción de acuerdo con el consumo de madera	20
Tabla 6: Velocidad mínima por temperatura	20
Tabla 7: Rutas y vías de acceso	27
Tabla 8: Recursos minerales – Coripuno	28
Tabla 9: Reserva mineral -Coripuno	29
Tabla 10: Parámetros de explotación cámaras y pilares y taladros largos	32
Tabla 11: Estaciones principales de ventilación – Ingreso de aire.....	36
Tabla 12: Estaciones principales de ventilación-Salida de aire	37
Tabla 13: Requerimiento de aire por personal	44
Tabla 14: Requerimiento de aire por equipos Diesel.....	45
Tabla 15: Requerimiento de aire por temperatura en las labores.....	46
Tabla 16: Requerimiento por consumo de madera	46
Tabla 17: Requerimiento de aire por fugas	47
Tabla 18: Requerimiento total de aire	47
Tabla 19: Balance total de aire	48
Tabla 20: Requerimiento y cobertura de zonas del Nv 4460	53
Tabla 21: Requerimiento y Cobertura de la Zona del Nivel 4475	55
Tabla 22: Requerimiento y Cobertura de las zonas del Nivel 4515	57
Tabla 23: Requerimiento y Cobertura de las zonas del nivel 4530.....	59
Tabla 24: Datos medidos en campo para calcular el gradiente geotérmico.....	61
Tabla 25: Cálculo del Gradiente Geotérmico	61
Tabla 26: Consumo de Energía de un Ventilador Secundario.....	62

Tabla 27: Consumo de Energía de un Ventilador Auxiliar	63
Tabla 28: Índice de costo de energía	64
Tabla 29: Datos para comprobación de hipótesis	67
Tabla 30: Estadísticos descriptivos de hipótesis	67
Tabla 31: Prueba de normalidad hipótesis general	68
Tabla 32: Requerimiento de aire por fugas	72
Tabla 33: Capex de proyectos a corto plazo	77
Tabla 34: Aforo de ingreso de aire proyectado a mediano plazo.....	80
Tabla 35: Aforo de salida de aire a mediano plazo	81
Tabla 36: Costo de lineal de RB's.....	82
Tabla 37: Descripción del proyecto RB 01	85
Tabla 38: Requerimiento de aire en la zona 3 del Nv 4460	88
Tabla 39: Descripción del proyecto RB 02	89
Tabla 40: Requerimiento de aire en la RP Carmen	90
Tabla 41: Descripción del proyecto RB 03	93
Tabla 42: Requerimiento de caudal de aire en el Nv 4660 zona 1	94
Tabla 43: Requerimiento de caudal de aire en el Nv 4530 zona 1	94
Tabla 44: Diámetro recomendado para extraer aire 80k cfm.....	97
Tabla 45: Escenario del costo operativo para extracción de caudal de 150k cfm.....	98
Tabla 46: Diámetro recomendado para extracción de caudal de 80k cfm	100
Tabla 47: Diámetro recomendado para extracción de caudal de 150k cfm	102
Tabla 48: Escenario costo operativo y total para extracción caudal de 200k cfm.....	103
Tabla 49: Cobertura global a mediano plazo, mina Cruz de Oro.....	104
Tabla 50: Cobertura global real, mina Cruz de Oro.....	104
Tabla 51: Flujo de inversión proyectado a mediano plazo.....	105
Tabla 52: Costo de Capital a mediano plazo.....	107
Tabla 53: Costo de Operación a mediano plazo	107
Tabla 54: Costo total de ventilación a mediano plazo	108

Tabla 55: Consumo de energía del ventilador principal para el RB 03	109
Tabla 56: Consumo de energía de ventiladores secundarios.....	109
Tabla 57: Consumo de energía de Ventiladores auxiliares	110
Tabla 58: Comparación de Costo por consumo de energía de CORI PUNO con otras minas.....	111
Tabla 59: Resumen de análisis de resultados.....	112

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1: Esquema de ventilación natural	8
Figura 2: Sistema de ventilación impelente	10
Figura 3: Sistema de ventilación aspirante.....	10
Figura 4: Sistema de ventilación impelente	11
Figura 5: Ventilador centrífugo	12
Figura 6: Ventilador axial	13
Figura 7: Curva de ventilador	16
Figura 8: Equipos y herramientas	26
Figura 9: Ubicación de proyecto	26
Figura 10: Malla de perforación en una sección de 3.5x3.5m	33
Figura 11: Esquema operativo de una mina subterránea.....	34
Figura 12: Estación de ventilación secundaria Rp Carmen	38
Figura 13: Punto de sección de control.....	39
Figura 14: Análisis de velocidades de los EVP	40
Figura 15: Velocidad de EVP 04 de 7m/min ubicado en el Nv 4460.....	41
Figura 16: Análisis de velocidades de los EVS en los 4 niveles	42
Figura 17: Análisis de Temperatura en Interior Mina.....	43
Figura 18: Análisis de Temperatura en Superficie.....	43
Figura 19: Distribución de Requerimientos	48
Figura 20: Vista planta Nv 4460.....	49
Figura 21: Vista planta Nv 4475.....	50
Figura 22: Vista planta Nv 4515.....	51
Figura 23: Vista planta Nv 4530.....	52
Figura 24: Vista planta zonas del Nv 4460.....	54
Figura 25: Vista planta zonas del Nv 4475.....	56
Figura 26: Vista planta zonas del Nv 4515.....	58

Figura 27: Vista planta zonas del Nv 4530.....	60
Figura 28: Costo de energía por tipo de ventilador	64
Figura 29: Vista isométrica 3D del modelamiento de la mina Cruz de Oro.....	65
Figura 30: Calibración de modelo Ventsim vs. campo.....	66
Figura 31: Proyecto a Corto Plazo del Nv. 4460, ventilador de 80k cfm.....	73
Figura 32: Proyecto a corto plazo, NV 4475, ventilador de 80k cfm	74
Figura 33: Proyecto a corto plazo, Nv. 4515	74
Figura 34: Proyecto de implementación de puerta en GL 6E	75
Figura 35: Proyecto GL 14E con salida de aire viciado.....	75
Figura 36: Proyectos a mediano plazo en las Zonas de Mina Cruz de Oro	83
Figura 37: Vista de la ubicación del CX Cori	84
Figura 38: Ubicación de la BM CORI	85
Figura 39: Vista unifilar del RB 01-Etapa 1	86
Figura 40: Vista unifilar del proyecto RB 0-Etapa 2.....	87
Figura 41: Regulador en polvorín al RB 01	88
Figura 42: Circuito de ventilación del RB 01	89
Figura 43: Vista unifilar del proyecto RB 02	90
Figura 44: Ubicación de RB 01 y RB 02.....	91
Figura 45: Vista de los proyectos RB 01 y RB 02.....	92
Figura 46: Vista Unifilar del proyecto RB 03.....	94
Figura 47: Índice de costo de energía.....	111

Introducción

La presente tesis detalla el desarrollo del sistema actual de ventilación con levantamiento en campo como medición de velocidad de aire, presión, temperatura, gases y parámetros ambientales. Además, se hizo el análisis de velocidades de aire tomando en cuenta los límites mínimos y máximos permitidos (≥ 20 m/min y ≤ 250 m/min), así como la concentración de gases en los laboreos (LMP de CO₂, 0.5% y de CO, 25ppm) según la normativa vigente. Seguidamente se hizo énfasis a la interpretación de las condiciones medio ambientales: fluctuaciones de temperatura, presencia de agua en el aire (humedad relativa).

Se presenta el diagnóstico del sistema de ventilación como el balance y cobertura de aire de la mina, trade off de ratios de consumo de US\$/cfm.

A partir de ello (línea base) y bajo el soporte del software Ventsim™ Design 5.2, se construirá un modelo representativo en 3D, que permita simular el sistema de ventilación actual y proyectado (mediano plazo), permitiendo analizarlos antes de su ejecución (determinar el número y tamaño de ventiladores, así como la ubicación y las dimensiones de las chimeneas). Evitando de este modo gastos innecesarios de reingeniería.

Capítulo I. Parte introductoria del trabajo

1.1 Descripción y formulación del problema

1.1.1 Descripción del problema

La ventilación de minas consiste en distribuir y encausar la circulación de volúmenes de aire dentro de las operaciones mineras del modo más económico, ya sea por medios naturales o mecánicos, a fin de satisfacer las necesidades de oxígeno del personal, de los equipos y además de poder diluir y transportar los contaminantes sólidos y gaseosos para que no afecte la capacidad de trabajo y salud del trabajador, sino más bien mejoren las condiciones ambientales y termo ambientales de la mina a concentraciones y temperaturas aceptables.

1.1.2 Formulación del problema

Actualmente en la U.E.A Cori Riqueza: Mina Cruz de oro, cuenta con (04) niveles de operación: Nv.4530, Nv.4515, Nv.4475 y el Nv. 4460; donde actualmente la producción se encuentra en 1100 ton/día; por otro lado, el sistema de ventilación principal es por el método del “tiro natural” posee (14) ingresos y (10) salidas de aire. Se emplean ventiladores secundarios y auxiliares de 60 kcfm y 30kcfm.

La problemática es que se tiene velocidades menores de acuerdo a lo establecido en el D.S. 024-2016-EM y su modificatoria D.S. 023-2017-EM en estaciones de ventilación principal de los niveles 4475, 4515 y 4530. Se tiene un requerimiento de aire fresco de 173,826 cfm, cumpliéndose con una cobertura real de un 171% el cual nos indica que cumple con su requerimiento de aire, pero eso no significa que se distribuya de manera eficiente en su sistema de ventilación; ya que se tiene un flujo de aire variable según la temperatura ambiental de la mina, siendo esto muy riesgoso para las operaciones en interior mina.

A mediano plazo (3 años), la U.M. Cruz de oro tiene planeado profundizar en la Zona Carmen e implementar Ore sorting en interior mina, de esta manera se requiere

cambiar a un sistema de ventilación forzado, para tener definido el circuito de ventilación principal y realizar una simulación del sistema de ventilación proyectado.

1.1.3 Problema general

¿El estudio y diseño, permitirá la optimización del sistema de ventilación actual y proyectada de la Unidad minera Cruz de oro?

1.1.4 Problema específico

- ¿Realizando el modelo 3D con el software Ventsim Design 5.2 entregara la optimización actual del sistema de ventilación?
- ¿El diseño proyectado del sistema de ventilación en el software Ventsim Design 5.2, permitirá optimizar el sistema de ventilación?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Evaluar y diagnosticar el sistema de ventilación de la U.M. Cruz de oro, con la finalidad de plasmar el circuito de ventilación actual en el software Ventsim Design 5.2. y proyectar a mediano plazo.

1.2.2 Objetivos específicos

- Realizar el estudio de ventilación actual, calibrar y simular el modelo del sistema de ventilación en el software Ventsim Design 5.2.
- Realizar el planeamiento a corto y mediano plazo para optimizar el sistema de ventilación proyectado de la mina.

1.3 Justificación e importancia

La ventilación de una mina subterránea corresponde al proceso de controlar y dirigir corrientes de aire a través de las excavaciones subterráneas, mediante métodos naturales, mecánicos o utilizando una combinación de ambos. El objetivo de la ventilación de minas es proveer condiciones atmosféricas saludables, confortables y seguras en todos los lugares donde el personal trabaje o se desplace. Todo esto obedece al cumplimiento del D.S. 024-2016 y su modificatoria D.S. 023-2017-EM, donde se aclara los ítems referenciales al capítulo de ventilación en minas subterráneas.

El presente trabajo de investigación se justifica, porque servirá para el mejoramiento del sistema de ventilación de la U.M. Cruz de Oro, simulando alternativas del mejor direccionamiento del circuito principal, secundario y auxiliar de ventilación, la cual funcionará eficientemente evitando costos de reingeniería. Esta investigación propone conocer el sistema actual de ventilación y propuestas de mejora para corto y mediano plazo como selección del diámetro óptimo y ventiladores adecuados y eficientes.

1.4 Hipótesis

1.4.1 Hipótesis general

El estudio y diseño del sistema de ventilación en el software Ventsim Design 5.2 de la Unidad minera Cruz de Oro, permitirá optimizar el sistema de ventilación actual y proyectada.

1.4.2 Hipótesis específicas

- El modelo 3D realizado en Ventsim Design 5 entregará la optimización actual del sistema de ventilación.
- El planeamiento a corto y mediano plazo en el software Ventsim Design 5.2, optimizaran el sistema de ventilación proyectado.

Capítulo II. Marcos teórico y conceptual

2.1 Antecedentes referenciales

2.1.1 A nivel internacional

SC. Toro, NR.Rueda, G.A. Marín (2012); en su artículo titulado “Estandarización del proceso de ventilación en minas de carbón-Caso Carbones del Caribe S.A.S. Colombia”, concluyen que, la utilización de herramientas avanzadas de simulación como Ventsim permite la evaluación del sistema actual y la simulación de múltiples alternativas de optimización de manera virtual minimizando los errores, la complejidad, el tiempo y los costos asociados con la implementación.

Y. Castro (2018); en su artículo titulado “Optimización de la ventilación auxiliar a través de un Banco de Pruebas”, concluyen que, si los accesorios del ducto están diseñados correctamente y se utilizan los principios de ingeniería (leyes de Bernoulli y Atkinson), un sistema de ventilación puede funcionar de manera eficiente.

2.1.2 A nivel nacional

Raico, A (2019), en su tesis; “Evaluación y optimización del sistema de ventilación del túnel de exploración Chaquicocha nivel 3750-Minera Yanacocha”, recomienda que, al realizar las mediciones de aire, sea lo más amplio y completo posible, haciendo circular el anemómetro a lo largo de toda la sección de la estación de ventilación.

2.1.3 A nivel operacional

Soncco, C (2016), en su tesis; “Diseño de un nuevo sistema de ventilación para la dilución de gases nocivos en la Unidad minera Untuca, Sandia-Puno”, concluye que; para la dilución de gases nocivos, se ha diseñado un nuevo sistema de ventilación aplicando el software minero Ventsim Visual, que consiste en tres subsistemas de uno, dos y tres niveles cada uno, en el subsistema I el caudal de aire requerido es de 76,137 cfm con una cobertura de 105.68% y en el subsistema III se tiene un requerimiento de caudal de aire de 95,315.3 cfm, llegando a una cobertura de 106.59% de caudal de aire.

2.2 Definición de términos

2.2.1 *Atmósfera de mina*

La composición del aire atmosférico en un lugar situado al nivel del mar.

Tabla 1

Atmósfera mina

Gases	Composición (%)
Nitrógeno	78.08 %
Oxígeno	20.95 %
Anhidrido carbónico	0.03 %
Argón	0.93 %
Otros gases	0.01 %

Nota: Adaptado de (McPherson, M., 2011).

En interior mina el aire atmosférico sufre cambios en su composición: la cantidad de oxígeno disminuye, el anhidrido carbónico aumenta, como también la cantidad de nitrógeno y vapor de agua. Adicional a ello se desempeñan actividades como perforación y voladura generando gases nocivos, aire muerto (mezcla de anhidrido carbónico 5 al 15% y nitrógeno 85 a 95%). (Nota: Novistky, 1962).

2.2.2 *Gases de minas*

La tabla 2. enumera los gases que comúnmente se encuentran en interior mina.

Tabla 2

Clasificación de los gases más comunes en minas subterráneas

Nombre	Símbolo	Peso molecular basado en C ¹²)	Notas principales en las minas	Olor, color, sabor	Peligros	LMP (D.S 023-2017-EM)	Límites de inflamabilidad en el aire, por ciento
Aire seco	-	28.966	-	ninguno	-	-	-
Oxígeno	O ₂	31.999	aire	ninguno	Deficiencia de oxígeno; puede causar mezclas explosivas con gases reactivos	>19.5% <22.5%	-
Nitrógeno	N ₂	28.015	aire, estratos	ninguno	inerte	-	-
Metano	CH ₄	16.04	Estratos	ninguno	Explosivo; estratificación	TWA=5000 ppm	5 a 15
Dióxido de carbono	CO ₂	44.00	Oxidación del carbono, incendios, explosiones, motores de combustión interna, voladura, respiración.	Olor y sabor ligeramente ácidos	Promueve el aumento de la frecuencia de la respiración.	TWA=5000 ppm STEL=30 000 ppm	
Monóxido de carbono	CO	28.01	Incendios, explosiones, motores de combustión interna, voladuras, combustión espontanea o incompleta de compuestos de carbono	ninguno	Muy toxico; explosivo	TWA=25 ppm	12.5 a 74.2
Dióxido de azufre	SO ₂	64.06	oxidación de sulfuros, agua acida en minerales de sulfuro, motores de combustión interna	Sabor acido, olor sofocante	Irrita ojos, garganta y pulmones, muy toxico	TWA=2 ppm STEL=5 ppm	
Óxido nítrico	NO	30.01		Irrita ojos, nariz y garganta	Se oxida rápidamente con el NO ₂	TWA=25 ppm	

Óxido nitroso	N ₂ O	44.01	Motores de combustión interna, explosiones, soldadura	Olor dulce	Narcótico (gas hilarante)	TWA=50 ppm
Dióxido de nitrógeno	NO ₂	46.01		Marrón rojizo, olor y sabor ácidos	Infecciones pulmonares, muy tóxicos; irrita garganta y pulmones.	TWA=3 ppm STEL=5 ppm
Radón	Rn	222	Minerales de uranio en estratos	Ninguno	Se desintegra en partículas radiactivas; radioactivos	1 WL y 4WL – meses al año
Vapor de agua	H ₂ O	18.016	Evaporación del agua, motores de combustión interna, respiración, combustión espontánea y otros fuegos	Ninguno	Afecta al entorno climático	

Nota: Adaptado de (McPherson, M., 2011).

2.2.3 Ventilación subterránea

La ventilación en una mina subterránea es el proceso mediante el cual se hace circular por el interior de la mina el aire necesario para asegurar una atmosfera respirable y segura para el desarrollo de los trabajos, la ventilación se realiza estableciendo un circuito para la circulación del aire a través de todas las labores.

2.2.4 Tipos de ventilación

Existen dos tipos de ventilación:

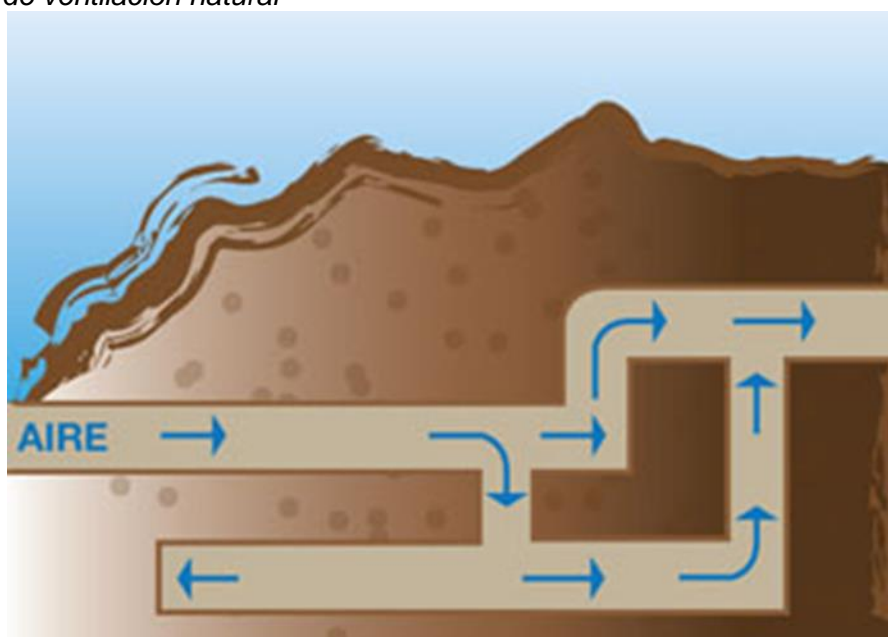
Ventilación natural

La ventilación natural que ocurre en las minas se debe a la diferencia de densidad que existe entre el aire de la mina y el aire atmosférico en el exterior. Esta diferencia de densidad se debe principalmente de la diferencia de temperatura del aire y en menor grado de la diferencia de presión entre la mina y el exterior.

El movimiento del aire a través de la mina es causado por la adición de energía térmica al aire y no por la diferencia de peso entre dos columnas de aire como generalmente se cree. (Nota: Diplomatura en gestión de riesgos en seguridad, higiene y salud ocupacional minera, 2011)

Figura 1

Esquema de ventilación natural



Nota: SERNAGEOMIN, 2008

Ventilación mecánica

La ventilación mecánica es generada por la presión que ejerce un ventilador sobre cierto volumen de aire, el cual dependiendo de sus características puede forzar el ingreso de aire fresco o extraer el aire viciado; la ventilación mecánica permite una presión constante sobre el aire y cierta cantidad de volumen fijo, ya que son accionados por un motor eléctrico y son seleccionados de acuerdo al diseño del sistema de ventilación con el fin de asegurar el ritmo de las operaciones y los ciclos de trabajo. Este tipo de ventilación es más cara por lo que requiere energía eléctrica para su funcionamiento, por tal motivo el objetivo es poder diluir y trasladar contaminantes, además de brindar confortabilidad al personal al más bajo costo de operación. (Nota: Jiménez, 2011)

2.2.5 Sistemas de ventilación

2.2.5.1 Sistema de ventilación principal. Es cuando el flujo principal de aire que enviamos atraviesa toda la sección o mina o todo el circuito y viaja por una galería principal distribuyéndose el aire por ramales o recibiendo de ramales laterales cuando la ventilación es de succión. Se instala ventiladores principales normalmente den superficie para ventilar toda la mina.

2.2.5.2 Sistema de ventilación secundaria. Es cuando releva la presión de ventilación en un circuito principal, el cual ha resultado demasiado resistente al ventilador principal debido a su longitud, curvaturas o reducción de áreas. Se utilizan ventiladores secundarios de tipo axial conectados en paralelo o en serie.

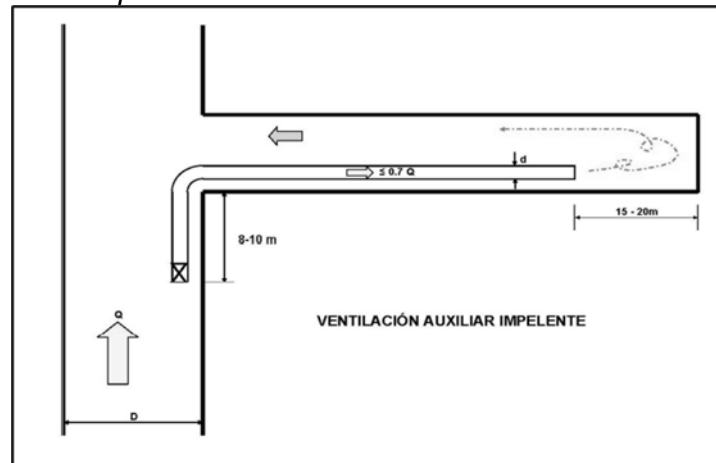
2.2.5.3 Sistema de ventilación auxiliar. Se utilizan ventiladores auxiliares con ductos flexibles o rígidos que inyectan aire fresco o extraen aire viciado de chimeneas, para los tajos o lugares confinados.

Sistema de ventilación impelente

El aire ingresa al frente de trabajo a través de mangas de ventilación, impulsado por ventiladores y desplaza el aire viciado a través de la galería. Este es el sistema predominante usado en la mayoría de las minas.

Figura 2

Sistema de ventilación impelente



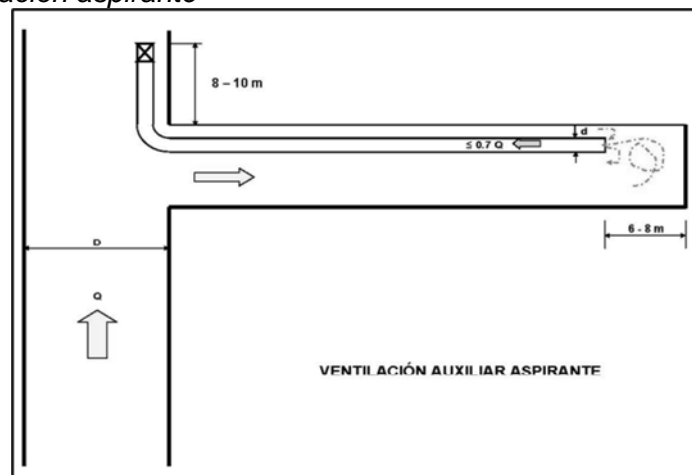
Nota: Adaptado de Diplomatura en Gestión de Riesgos en Seguridad, Higiene y Salud Ocupacional Minera: Ventilación de Minas, 2011

Sistema de ventilación aspirante

El aire viciado del frente de trabajo es succionado a través de mangas de ventilación, impulsado por ventiladores y el aire fresco ingresa a través de la galería.

Figura 3

Sistema de ventilación aspirante



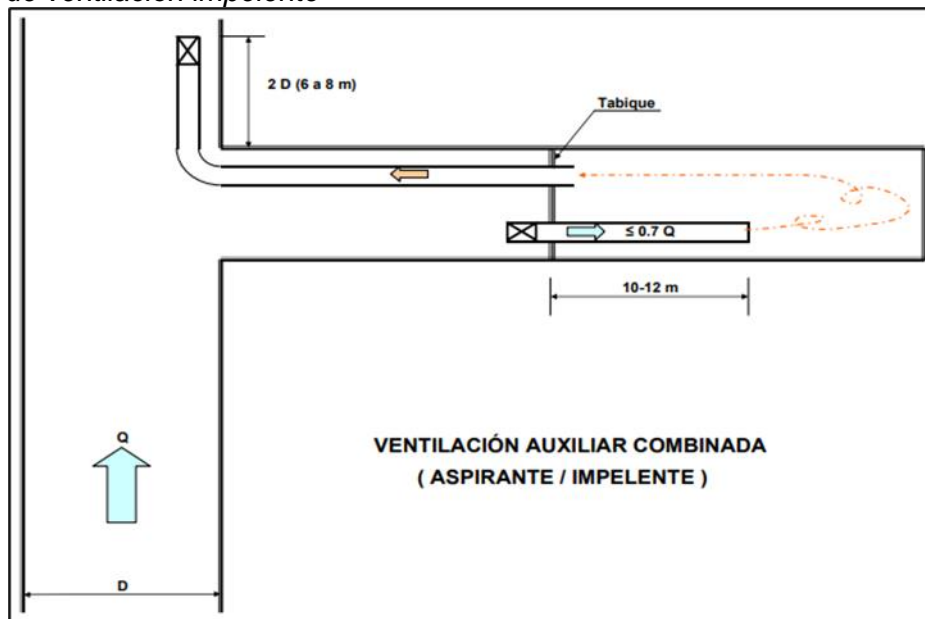
Nota: Adaptado de Diplomatura en Gestión de Riesgos en Seguridad, Higiene y Salud Ocupacional Minera: Ventilación de Minas, 2011

Sistema de ventilación mixto

Combinación de los anteriores.

Figura 4

Sistema de ventilación impelente



Nota: Adaptado de Diplomatura en Gestión de Riesgos en Seguridad, Higiene y Salud Ocupacional Minera: Ventilación de Minas, 2011

2.2.6 Ventilador

Un ventilador es un dispositivo que utiliza la energía mecánica de un impulsor rotatorio para producir el movimiento del aire y un aumento de su presión total. Se utiliza como ventilador principal, secundario y auxiliar, debido a su facilidad de transporte y mantenimiento, está constituido por un ducto dentro del cual se halla acoplado directamente el motor al impeler del ventilador y sobre el cual es necesario conocer debidamente como es su curva de trabajo.

Tipos de ventiladores:

Ventilador centrífugo

En los ventiladores centrífugos el aire entra por un oído central y es aspirado por centrifugación en una rueda de alabes, de donde es impulsado a un cuerpo en forma de caracol, llamado voluta, cuya sección va creciendo hasta alcanzar el orificio de salida en la zona llamada difusor.

Figura 5

Ventilador centrífugo



Nota: www.Airtec.com

Ventilador axial

Este ventilador es de mayor uso en las minas peruanas como ventilador principal, secundario y auxilia, debido a su facilidad de instalación, transporte y mantenimiento, especialmente instalación porque construidos con rodamientos axiales se le puede instalar verticalmente, oblicuamente, horizontalmente y suspendido para poder aplicarlo a un circuito de mina o de mangas de ventilación auxiliar. Este ventilador está constituido por un ducto dentro del cual se halla acoplado directamente el motor al impeler del ventilador y sobre el cual es necesario conocer debidamente como es su curva de trabajo.

Figura 6

Ventilador axial



Nota: www.Airtec.com

2.2.6.1 Ley de los ventiladores. Todos los tipos de ventiladores siguen ciertas leyes en el cambio de sus condiciones de trabajo, leyes que son usadas para predecir futuros resultados por efectos del cambio de una de sus condiciones de operación o accionamiento o para la selección apropiada de estos, entre ellas tenemos los siguientes (Nota: Pablo Jiménez 2014).:

Quando cambiamos el RPM del ventilador y mantenemos constante la densidad del aire que pasa y el tamaño del diámetro del ventilador.

- Al cambiar el RPM por otra RPM los volúmenes cambian directamente proporcional a las revoluciones, esto es.

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

Esta ley es la más frecuente usada, para reducir volumen y no consumir mucho BHP que cuesta.

- Cuando cambiamos las estáticas, las revoluciones cambian directamente proporcional al cuadrado de las revoluciones, esto es:

$$\frac{Hf_1}{Hf_2} = \frac{RPM_1}{RPM_2} \quad (2)$$

- Cuando cambiamos las revoluciones del motor ventilador el BHP cambia directamente proporcional al cubo de las revoluciones, esto es.

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

Cuando cambiamos la densidad del aire que pasa a través del ventilador y mantenemos constante el volumen, el tamaño del diámetro y las revoluciones del ventilador, tenemos:

- Al cambiar la densidad del aire que pasa por el ventilador, la estática que desarrolla este cambia directamente proporcional a las densidades, esto es:

$$\frac{Hf_1}{Hf_2} = \frac{d_1}{d_2} \quad (4)$$

Esta es la igualdad más usada para convertir la estática de altura del ventilador a estática de nivel de mar o viceversa.

- Al cambiar la densidad del aire que pasa por el ventilador, el BHP que consume cambia directamente proporcional a las densidades, esto es:

$$\frac{BHP_1}{BHP_2} = \frac{d_1}{d_2} \quad (5)$$

Es decir, a mayor peso de aire por unidad de volumen también habrá mayor consumo de BHP.

- Al hacer este cambio el volumen del aire permanece constante $Q_1=Q_2$.
- Al cambiar la densidad no varía la eficiencia, esto es $\eta_1=\eta_2$.

Cuando cambiamos el diámetro del ventilador y permanecen constantes las RPM y la densidad de aire, tenemos:

- Al cambiar el diámetro de los ventiladores o del impeler los volúmenes cambian directamente proporcional al cuadrado de los diámetros del impeler, esto es:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{D_1^2}{D_2^2} \quad (6)$$

- Al cambiar el diámetro del impeler los BHP cambian directamente proporcional al cuadrado de los diámetros esto es:

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

- Al hacer este cambio de diámetro las estáticas son iguales, esto es.

$$Hf_1 = Hf_2 \quad (8)$$

- Al hacer este cambio de diámetro las eficiencias no varían, esto es.

$$n_1 = n_2 \quad (9)$$

2.2.6.2 Curva de ventilador. Un ventilador funcionando a una determinada velocidad y conectado a un sistema que tiene una resistencia dada, desarrolla una presión que representa su capacidad de realizar trabajo útil. Una vez estabilizado el flujo de aire a través del sistema, una parte de la energía impartida por el ventilador se convierte en velocidad (presión de velocidad) y el resto será la energía disponible para vencer la resistencia del circuito (presión estática o útil). La suma de estas dos presiones constituye la presión total del aire en un punto determinado del circuito.

La curva característica de un ventilador es la representación gráfica de la relación existente entre la presión desarrollada por la maquina y el caudal de aire que fluye a través de la misma para una velocidad de rotación determinada.

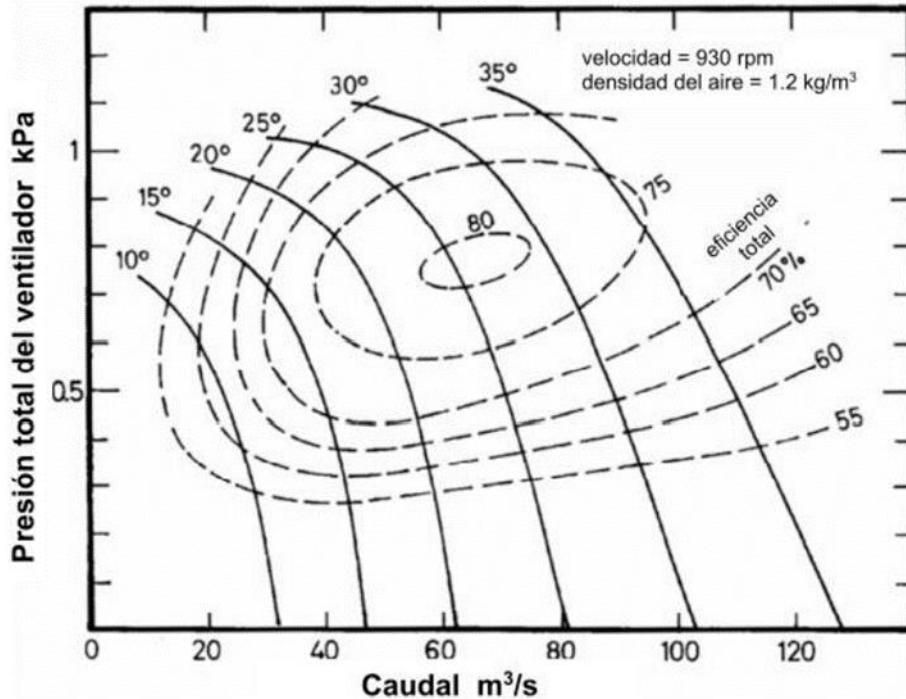
En la curva característica de los ventiladores, se muestra generalmente la presión estática desarrollada y la potencia al eje requerida para cada condición de flujo. En algunos casi, se incluye además la eficiencia del ventilador para todo el rango en el que es capaz de operar.

Un ventilador podemos caracterizarlo por su curva, que es el lugar geométrico de los puntos de funcionamiento de este.

Para cada ángulo de regulación de los alabes tendremos una curva distinta. El punto de corte de la curva del ventilador con la resistencia del circuito es el punto de funcionamiento del ventilador (H, Q).

Figura 7

Curva de ventilador



Nota: Adaptado de (McPherson, M., 2011).

2.2.7 Normas legales que sustenten el estudio

El reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional D.S. N°024-2016-EM y su modificatoria D.S.023-2017-EM, tiene como objetivo prevenir la ocurrencia de incidentes, accidentes y enfermedades ocupacionales, promoviendo una cultura de prevención de riesgos laborales en el sector. Del Art.246 al 259 hace referencia a la Ventilación de minas subterráneas metálicas, estableciendo parámetros como requerimiento de caudal de aire por personas y equipos diésel, velocidad de aire en m/min de las labores subterráneas, características de los ventiladores principales y secundarias, entre otras consideraciones.

2.2.7.1 Requerimiento de aire. El D.S.024-2016-EM y su modificatoria D.S.023-2017-EM en el Art.252 inciso d), indica que la demanda de aire de la mina debe ser la cantidad de aire requerida por los trabajadores, para mantener una temperatura de confort

del lugar de trabajo y para la operación de los equipos petroleros de acuerdo con el Anexo 38.

Requerimiento de aire total (QT₀)

Cuando en la operación se utilice equipos con motor petrolero:

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

$$Q_{T0} = Q_{T1} + Q_{Fu} \quad n2 \quad (10)$$

Donde:

Q_{T0} = Caudal total para la operación

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

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

A estos efectos, previamente debe determinarse lo siguiente:

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

$$Q_{Tr} = F \times N \quad (m^3/min) \quad n2 \quad (11)$$

Donde:

Q_{Tr} = Caudal total para "n" trabajadores (m^3/min);

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

N = Número de trabajadores de la guardia más numerosa.

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

$$Q_{Ma} = T \times u \quad (m^3/min) \quad n2 \quad (12)$$

Donde:

Q_{Ma} = Caudal requerido por toneladas de producción (m^3/min)

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

T = Producción en toneladas métricas húmedas por guardia

Tabla 3*Factor de producción de acuerdo con el consumo de madera*

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

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

$$Q_{Te} = V_m \times A \times N \text{ (m}^3\text{/min) n}^2 \quad (13)$$

Donde:

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

V_m = Velocidad mínima;

A = Área de la labor promedio;

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

Tabla 4*Velocidad mínima por temperatura*

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

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

$$Q_{Eq} = 3 \times HP \times D_m \times F_u \text{ (m}^3\text{/min) n}^2 \quad (14)$$

Donde:

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

HP = Capacidad efectiva de potencia (HPs);

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

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

▪ **Caudal requerido por fugas (Q_{Fu})**

$$Q_{Fu} = 15\% \times Q_{T1} \text{ (m}^3\text{/min) } n_2 \quad (15)$$

Donde:

$$Q_{T1} = Q_{Tr} + Q_{Te} + Q_{Ma} + Q_{Eq} \text{ } n_2 \quad (16)$$

Requerimiento de aire total (Q_{To}).

Cuando en la operación no se utilicen equipos con motor petrolero:

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

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

$$Q_{To} = Q_{T1} + Q_{Fu} \text{ } n_2 \quad (17)$$

Donde:

Q_{To} = Caudal total para la operación

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

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

A estos efectos, previamente debe determinarse lo siguiente:

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

$$Q_{Tr} = F \times N \text{ (m}^3\text{/min) } n_2 \quad (18)$$

Donde:

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

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

N = Número de trabajadores de la guardia más numerosa.

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

$$Q_{Ma} = T \times u \text{ (m}^3\text{/min) } n_2 \quad (19)$$

Donde:

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

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

T = Producción en toneladas métricas húmedas por guardia.

Tabla 5

Factor de producción de acuerdo con el consumo de madera

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

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

$$Q_{Te} = V_m \times A \times N \text{ (m}^3\text{/min) } n_2 \quad (20)$$

Donde:

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

V_m = Velocidad mínima;

A = Área de la labor promedio;

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

Tabla 6

Velocidad mínima por temperatura

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

- **Caudal requerido por fugas (QFu)**

$$Q_{Fu} = 15\% \times Q_{t1} \text{ (m}^3\text{/min)} \quad (21)$$

Donde:

$$Q_{T1} = Q_{Tr} + Q_{Te} + Q_{Ma} \quad (22)$$

- **Caudal requerido por consumo de explosivo (QEx)**

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

$$Q_{Ex} = A \times V \times N \text{ (m}^3\text{/min)} \quad (23)$$

Donde:

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

A = Área promedio de labores (m²);

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

N = Número de niveles en voladura.

2.2.8 Ley de la continuidad de flujo

Es la ley básica de la ventilación de minas y está definida por la siguiente ecuación:

$$Q = V \times A \text{ (cfm)} \quad (24)$$

Donde:

Q: Caudal de aire

V: velocidad

A: Área de la sección transversal

2.2.9 Ley cuadrática

Está definida como la resistencia del conducto o caída de presión o pérdida por fricción en " H₂O.

$$H_f = R \times Q^2 \text{ (" H}_2\text{O)} \quad (25)$$

Donde:

Hf: Caída de presión

R: Resistencia

A: Área de la sección transversal

2.2.10 Resistencia de Atkinson

Resistencia de la galería o conducto de ventilación.

$$R=KL\frac{\rho \cdot per}{2A^3} \left(\frac{Ns^2}{m^8} \right) \quad (26)$$

Donde:

R: Resistencia

K: Factor de fricción

ρ : Densidad del aire

A: Área de la sección transversal

2.3 Definición de términos

Ventilación de mina:

Es el arte y ciencia que trata de distribuir y encausar la circulación de volúmenes de aire dentro de las operaciones mineras del modo más económico, ya sea por medios naturales o mecánicos, a fin de satisfacer las necesidades de oxígeno del personal, de las máquinas y diluir y transportar los contaminantes sólidos y gaseoso para que no afecte la capacidad de trabajo y salud del trabajador y más bien mejoren las condiciones ambientales y termo ambientales de la mina a concentraciones y temperaturas aceptables.

Volumen de aire:

El volumen de aire que circula por una labor se define como $Q= AxV$ (cfm), igualdad que se conoce como ley de la continuidad y que dice que la cantidad de aire que viaja por un conducto de mina (chimenea, galería o tajo) está dado por el área transversal multiplicado por la velocidad de aire que atraviesa esta galería o chimenea o en otros casos por la velocidad que atraviesa la sección transversal de una manga de ventilación, en toda su longitud.

Velocidad de aire:

Es el avance del aire en la unidad de tiempo en pies por minuto de un punto a otro punto y se mide en las galerías o chimeneas siendo el factor más importante que debe considerarse y determinarse en el terreno para trasladar el aire fresco o aire usado con todos sus contaminantes.

Área de la sección:

El área transversal galerías o de las estaciones de ventilación a través del cual fluye el aire.

Presión:

Es la fuerza que necesitamos aplicar para mover el peso de aire y vencer la presión estática =SP y la presión de velocidad =VP, ambos medidos en pulgadas de agua.

Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación

3.1 Diseño metodología

De acuerdo con la naturaleza del tipo de investigación es descriptiva y aplicada, ya que con la investigación realizada los resultados permitieron analizar y optimizar el sistema de ventilación de la Unidad minera Cruz de Oro.

3.2 Población y muestra

3.2.1 Población

La población está constituida por los niveles principales, secundarios y auxiliares de las labores de la Unidad Cruz de Oro.

3.2.2 Muestra

La muestra analizada está conformada por: 24 estaciones principales (14 ingresos de aire fresco y 10 salidas de aire viciado) y 34 estaciones secundarias; se midió velocidades de aire, concentraciones de gases, condiciones termo ambientales, resistencias y la dirección del flujo de aire.

3.3 Definición de variables

3.3.1 Variable independiente

- Análisis de velocidades de estaciones de ventilación principales.

Indicadores:

- Modelamiento del sistema de ventilación actual utilizando el software Ventsim Design 5.4., de la U.M. Cruz de Oro-Coripuno S.A.C.

3.3.2 Variable dependiente

- Optimización del sistema de ventilación con el software, comparando resultados medidos en campo vs. Resultados en Ventsim.
- Simulación del sistema de ventilación proyectada a mediano y largo plazo.

Indicadores:

- Velocidad de aire
- Caudal de aire

- Temperatura
- Humedad relativa

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1 Técnicas

Las técnicas básicas para la recolección de información, se puede definir como; el medio a través del cual el investigador se relaciona con los participantes para obtener la información necesaria que le permita alcanzar los objetivos planteados en la investigación.

Entre las técnicas de recolección de información se refieren las siguientes:

- Observación: Se capta de forma sistemática y en forma directa con cada una de las variables.
- Recopilación documental: recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios.

3.4.2 Equipos y herramientas

- Equipo Multifunción 480 TESTO (T°, Velocidad m/s, Presión hPa, H.R. %).
- Sonda térmica TESTO, de Ø 10 mm para medir velocidades menores de 5 m/s.
- Sonda de molinete TESTO, Ø 16 mm para medir velocidades mayores a 0.6 m/s.
- Manómetro 511 TESTO, para medición de la presión barométrica.
- Higrómetro 610 TESTO, para medición de la temperatura bulbo húmedo, seco y humedad relativa.
- Sonda de inmersión térmica TESTO, para medir temperatura de la roca.
- Distanciómetro digital BOSCH.
- Tubo de Pitot de 100 mm de Log. 7 mm de diámetro.

Figura 8

Equipos y herramientas



Nota: www.Testo.com

3.5 Ubicación del proyecto

La Unidad Minera Cori Riqueza está situada en el paraje Cochapata, distrito de Quiaca, provincia de Sandía, Región de Puno, en las estribaciones orientales de la Cordillera Oriental del Sur del Perú, con altitudes que van de 3900 msnm hasta 5000 msnm.

Figura 9

Ubicación del proyecto



Nota: Unidad Catastro minero - INGEMMET

3.6 Accesibilidad

El acceso se realiza por vía aérea y terrestre; el acceso se detalla en la tabla siguiente:

Tabla 7

Rutas y vías de acceso

Ruta	Tramo	Vía	Distancia (km)	Tiempo (Horas)
1	Lima- Juliaca	Vía aérea	880	1 h 15'
2	Juliaca – Ananea (por Putina)	Asfaltada	190	3 h 10'
4	Ananea – Unidad Cori Riqueza	Afirmada	48	1 h 05'
TOTAL			1,118	5 h 30'

Nota: Elaboración propia

3.7 Geología del yacimiento

En la cadena Oriental del segmento sur de la cordillera de los Andes del Perú, afloran rocas sedimentarias del Paleozoico, que genéticamente están asociados a ocurrencia de yacimientos epigenéticos hidrotermales auríferos, estos son pizarras de la formación Sandia del sistema ordovícico del paleozoico inferior.

Estas rocas paleozoicas ocupan gran extensión hacia el norte y están fuertemente plegadas y falladas por el fuerte tectonismo soportado, constituyen la gran parte de los afloramientos en la cordillera Oriental al Noroeste de Bolivia y Sureste del Perú, prolongándose hasta la cordillera de Vilcabamba.

Además, existen rocas cuaternarias (fluviales, coluviales, fluvioglaciares, etc.), que se encuentran ocupando áreas de piedemonte y quebradas.

Para el desarrollo de la geología local, se considera el área en estudio del proyecto, esto significa: Norte de la concesión Cartagena; Aurífera Puno N° 4 en su totalidad. En estas propiedades mineras, se ubican las áreas mineralizadas del Cerro La Torre, Llactapata, Gallocunca, Lomada, Pomarani y Pullucunuyoc.

Dentro del corredor mineralizante, se reconocen afloramientos de rocas filitas y pizarras intercaladas de cuarcitas grises y blancas, de la Formación Sandia del ordovícico

superior (505 a 440 millones de años). Estas rocas presentan una orientación Noroeste, con buzamientos al Suroeste (N-W /5° a 26°).

Durante el tiempo geológico, las rocas han sufrido un intenso fallamiento y fracturamiento en dos sistemas bien definidos, el primero de orientación NE-SW y el segundo de NW-SE (340°/45°), estas fallas han actuado como conductos mineralizantes en la secuencia geológica favorable. El fracturamiento es intenso en las zonas de fallas.

La mineralización se encuentra asociada a la ocurrencia de vetas, vetillas, de cuarzo gris-blanco, sulfuros (pirrotina, pirita y arsenopirita), feldespatos, clorita y oro, en planos de foliación de la estratificación.

3.8 Plan de minado detallado sector subterráneo

El plan de minado establecido para el proyecto obedece primeramente a la necesidad de confirmar la interpretación geológica hecha en base a los sondajes diamantinos, mediante un programa de desarrollos exploratorios que permitan re categorizar recursos de la condición de inferidos a la de medido indicados, delimitando también las formas geométricas de las estructuras mineralizadas económicamente explotables en forma selectiva, esto debido a la naturaleza marginal de la mineralización.

3.8.1 Recursos Minerales

Los recursos para la mina subterránea y cielo abierto se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 8

Recursos minerales – Coripuno

Sector	Mineral	Ley
Pomarani	3,665,010	1.37
Cruz de Oro	2,859,429	1.64
Total	6,524,439	1.49

Nota: Departamento Planeamiento e ingeniería- Coripuno

El plan de minado se ha desarrollado sobre los modelos de bloques de cada sector, la distribución de recursos permite guiar el planeamiento y definir una adecuada secuencia de explotación, así como elegir la explotación adecuada por Subterránea.

3.8.2 Reservas Minerales

Cut off por sectores

La ley de corte (cut-off), será aquella ley mínima cuyo valor cubra todos los costos involucrados en el proceso de minado (producción, procesamiento y comercialización) y equivale al costo necesario para que la reserva mineral resulte económicamente rentable.

El cut Off para el Sector de Pomarani y Cruz de Oro Subterráneo es de 1.8 g_Au/Tn.

$$\text{Cut Off (Ley Mínima \%)} = \frac{\text{Costos de producción}}{\text{Precio neto} \times \text{Recuperación}} \quad (27)$$

Reserva mineral

Las reservas estimadas para sector el Sector de Pomarani y Cruz de Oro se determinó sobre el cut off de 1.8 Au g/Ton, en la siguiente Tabla para el minado Subterráneo.

Tabla 9

Reserva mineral -Coripuno

Sector	Mineral	Ley
Pomarani	470,104	2.70
Cruz de Oro UG	352,277	2.41
Total	822,381	2.57

Nota: Departamento Planeamiento e ingeniera- Coripuno

3.9 Método de explotación

3.9.1 Criterios de Diseño de Mina

- Impacto Medio Ambiental y Sensibilidad Social del Entorno

La ubicación de las zonas mineralizadas y las actividades allí desarrolladas y también las proyectadas, fueron consideradas por CORI PUNO, en su propósito de no alterar las condiciones ambientales del entorno. También se tomó en consideración los aspectos relacionados a la permeabilidad de las comunidades respecto a la incorporación de los nuevos sectores a la producción, las facilidades de accesos y las menores distancias de transporte.

- Naturaleza de la Estructura Mineralizada

El origen de la mineralización, los patrones de ocurrencia y los controles de mineralización, fueron estudiados. Esta información ayudó a definir la estrategia de exploración, ubicando las labores de acceso de tal forma de facilitar el reconocimiento simultáneo de las estructuras mineralizadas en distintos niveles, desde donde se podrán habilitar siguiendo el buzamiento las cámaras de producción (Tajeos).

- Dimensión y Geometría del Depósito Mineralizado

Estos aspectos se estudiaron y sirvieron para:

Diseñar el plan de accesibilidad mediante la ubicación y desarrollo de labores de acceso, en caja piso hasta interceptar las estructuras mineralizadas, luego sobre estructura continuar con el desarrollo exploratorio en forma longitudinal a la secuencia estratigráfica y al rumbo de las estructuras mineralizadas.

Determinar la separación entre niveles adecuadamente, considerando el efecto negativo del bajo buzamiento en el rendimiento de los equipos de acarreo, también para un mejor control de los contactos y así minimizar los efectos de la dilución, en la etapa de explotación.

La correcta ubicación de las cámaras de acumulación con el objetivo de darle mayor fluidez a la extracción del mineral especialmente en las actividades de traspaso del mineral.

- Zoneamiento Mineral

Se revisará y ordenará la información de los recursos por niveles, aspectos que permitirá ubicar el nivel de transporte o extracción del mineral. La ubicación adecuada de esta labor permitirá aprovechar el manipuleo del mineral que luego se traspasa hacia la cámara de carguío donde allí inicia el transporte del mineral en volquete. Se diseñará el ingreso de los servicios de preferencia por el nivel 4870.

3.9.2 Elección del método de minado

Dadas las características del comportamiento geomecánico del yacimiento y la naturaleza marginal de la mineralización, se requiere de un método de minado masivo de bajo costo, autosoportado con pilares y que no requiera relleno. Para estas condiciones de

operación los métodos que mejor se adaptan, son “Cámaras y Pilares” y “Subniveles con Taladros Largos”

La ventaja de estos métodos de explotación, es que los pilares pueden acomodarse según las leyes en los sectores más pobres; de tal forma que alineados permitan siempre el acarreo de mineral, este esquema podría variar razonablemente para extraer mineral de varios frentes a una ley requerida. La orientación de las cámaras y pilares es recomendable que sean alineadas a las direcciones preferenciales de avance de las excavaciones, es decir en dirección SW a NE o viceversa, o de NW a SE o viceversa. En esta dirección las condiciones de estabilidad de las cámaras, así como de los pilares se verán favorecidas y el sostenimiento será menor, este criterio aplica para los cuerpos mineralizados de Cruz de Oro.

3.9.2.1 Uso de desquinche. Se desquinchará al ancho de cámara de 9 m, dejando el pilar de diseño de 5 x 5 m. El Jumbo perforara en sección 5 m x 4 m. La limpieza de mineral será con scoop de 6 yd³ por ser secciones anchas.

3.9.2.2 Uso de breasting. El método contempla la recuperación del mineral hasta el techo según control geológico, por lo que en potencias mayores a 6 m se tendrá que rellenar el piso para que el jumbo tenga altura de perforación y quede una luz de 1 m, para proceder a los cortes horizontales hasta llegar al techo del horizonte mineralizado según control geológico.

3.9.2.3 Uso de banqueo. Se da para minar los 2 subniveles mediante taladros largos.

Tabla 10*Parámetros de explotación cámaras y pilares y taladros largos*

Método	Cámaras y pilares	Taladros largos
Altura de bancos (Potencia)	7 m	>7 m
Longitud de los tajeos (Largo)	86 m	46m
Ancho de los tajos (Entre ejes de tajos)	14m	14m
Índice de perforación	47 t/m	50 t/m
Longitud de perforación	10-12 pies	30-36 pies
Aporte de los avances a la Producción	80%	90%
Recuperación de mineral inicial-final	87%	82%
Porcentaje de dilución (estimado)	5%	5%
Avance de Excavación	Sub horizontal	Vertical

Nota: Departamento Planeamiento e ingeniera- Coripuno

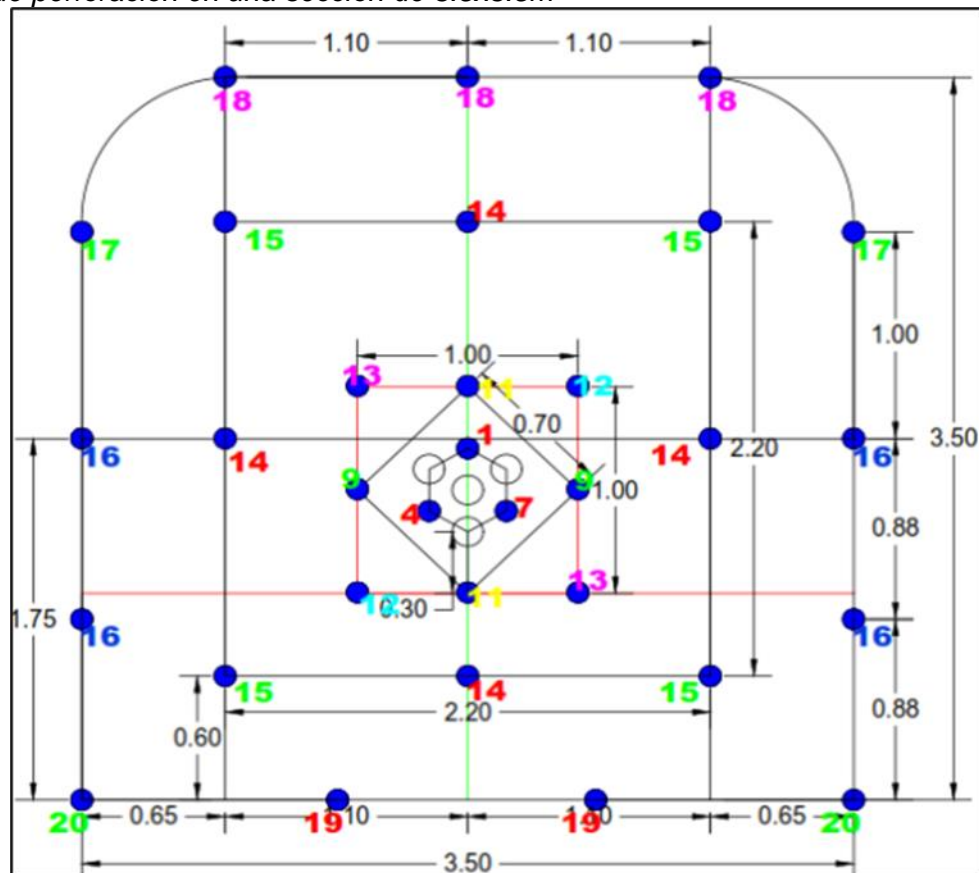
3.9.3 Operaciones unitarias en minado subterráneo

Los tajeos estarán constituidos por cámaras, separados por sus respectivos pilares, los tajeos tendrán una longitud variable de acuerdo a los límites de los mantos. El ciclo de minado plantea ocupar para limpieza equipos scoops

3.9.3.1 Perforación. La perforación se realizará con equipos mecanizados Jumbo de un brazo, la distribución de la malla de perforación se hará dependiendo de la potencia de la estructura mineralizada.

Figura 10

Malla de perforación en una sección de 3.5x3.5m



Nota: Departamento Planeamiento e ingeniería- Coripuno

3.9.3.2 Voladura. Para la voladura o disparo, se usa explosivos convencionales como emultex y/o semexa, como iniciadores conectores carmax unidos por cordón detonante de 12 pies.

3.9.3.3 Acarreo de mineral. El acarreo de mineral se realiza con scooptram de 6 yd³ que carga y transporta el mineral desde el frente hasta las cámaras de acumulación.

3.9.3.4 Transporte. Esta operación se llevará a cabo mediante el uso de camiones que se desplazarán por las rampas principales de transporte de 4.5 x 4.5 m. Para extraer el mineral hasta superficie, los volquetes podrán trasladar el mineral a la planta concentradora.

3.9.3.5 Servicios Auxiliares. El aire comprimido será generado por compresoras estacionarias las que estarán ubicadas en las principales bocaminas estoy

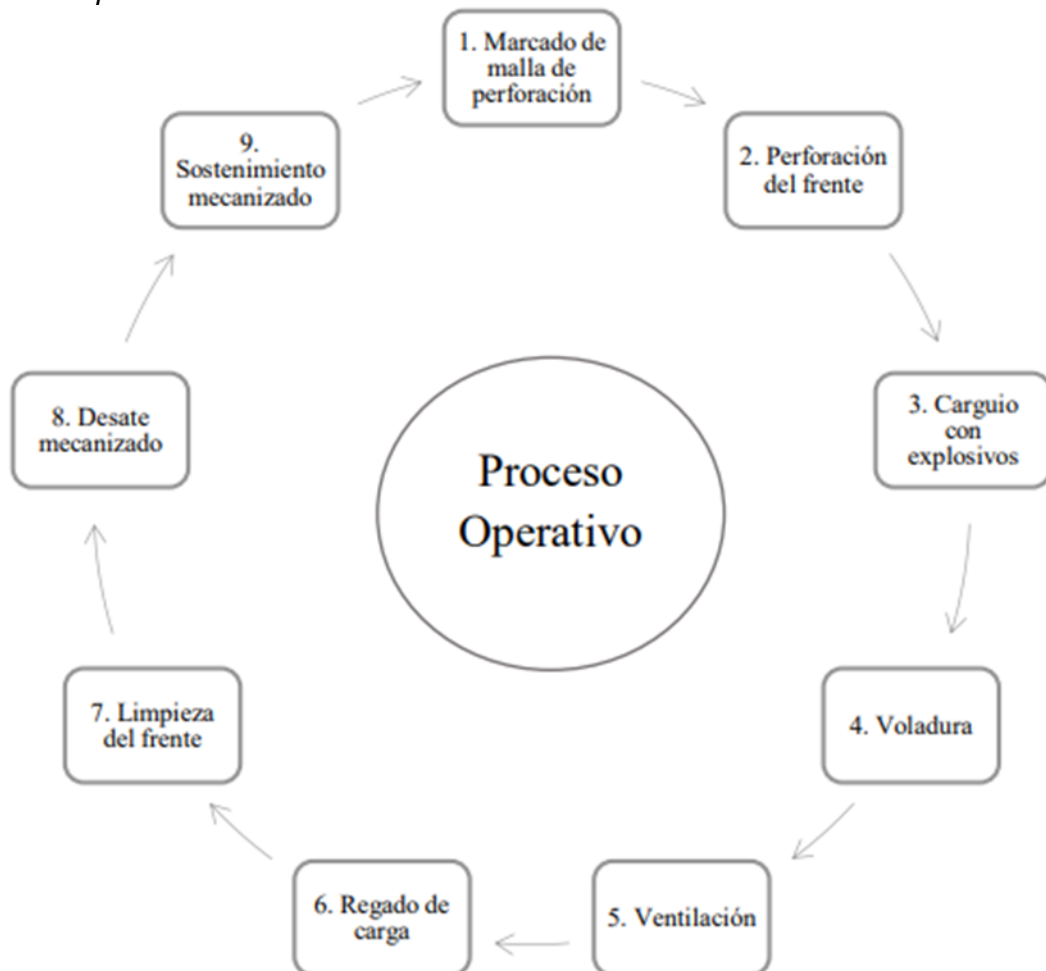
para maquinas Jack leg, el aire comprimido será distribuido mediante tuberías de 4” de diámetro y agua mediante tuberías de 3”.

3.9.3.6 Ventilación. Haciendo uso del software VENTSIM se efectuaron análisis de sensibilidad de los circuitos de ventilación de mina, teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- Demandas de aire para una producción de 700 t/día en Cruz de Oro.
- Operación de equipos diésel, disponibilidad mecánica, factor de utilización.
- Método de explotación por taladros largos y cámaras y pilares.

Figura 11

Esquema operativo de una mina subterránea



Nota: Departamento Planeamiento e ingeniera- Coripuno

Capítulo IV. Análisis y discusión de los resultados

4.1 Sistema de ventilación actual

En la Zona Este del nivel 4530 el ingreso de aire esta dado por las GL 06, 13 y 15, y la salida de aire por la GL 03. La Zona Oeste del nivel 4530 es ventilado captando el aire que ingresa por la GL 02W con un ventilador de 60k cfm (que lleva aire fresco a 5 frentes de trabajo) y la salida de aire se da por la RP 530 captando el aire viciado de los frentes de trabajo y la chimenea que sube aire del nivel 4515.

Para ventilar la Zona Este del nivel 4515, la GL 14 capta aire fresco que ingresa por la RP 500S, luego capta aire por la chimenea que se encuentra en la CM 27 desde el nivel 4475 y la salida es por las GL 13E, 14E y 15E. Para ventilar la Zona Oeste del nivel 4515 el aire sube por la RP 531 y sale por la chimenea que se encuentra en la CM 531B al nivel 4530.

En el nivel 4475 el ingreso de aire esta dado por la RP 500S que es captado por la GL 11E, también ingresa aire por la RP 09W, GL 14E y 15E. En la GL 14E hay un ventilador que capta el aire fresco y lo distribuye al INC K y GL 16 mediante manga de ventilación.

El aire que ingresa por la GL 15E sirve para limpiar el aire viciado generado por el INC K y GL 16. Una parte del aire fresco que ingresa por la RP 09W es captado por un ventilador secundario de 30k cfm que se encuentra en la GL 08W y lleva el aire limpio al TJ 11. Todo el aire viciado sale por las GL 01E, 02E, 03E, 06E y 08E.

En el nivel 4460 el ingreso de aire esta dado por las GL13E, 14E, 16E, 17E, 18E y 19E y la salida de aire por las galerías 01E y 15E.

4.1.1 Levantamiento de ventilación

Se determina por estaciones principales (Ingresos y salidas de aire) y estaciones secundarias (Interior mina), identificando las labores, dirección y velocidad del aire, obteniéndose los flujos para la calibración del Modelo Ventsim.

En el levantamiento de campo se contabilizaron:

Estaciones principales: 24 puntos (14 ingresos y 10 salidas)

Tabla 11

Estaciones principales de ventilación – Ingreso de aire.

Est.	Fecha	Ubicación			Sección				Vel.		Caudal	
		Nivel	Labor	Referencia	Ancho (m)	Alto (m)	Forma	Área (m2)	m/s	m/min	m3/min	cfm
EVP-01	08/02/2020	4460.00	GL-19E	Conecta Superfie	4.23	2.76	BAÚL	10.95	1.18	71	774.6	27,355
EVP-02	08/02/2020	4460.00	GL-18E	Conecta Superfie	4.24	4.29	BAÚL	17.06	0.61	36	621.1	21,932
EVP-03	08/02/2020	4460.00	GL-17E	Conecta Superfie	3.88	4.10	BAÚL	14.92	0.11	7	102.5	3,618
EVP-04	08/02/2020	4460.00	GL-16E	Conecta Superfie	4.11	4.47	BAÚL	17.23	0.13	8	135.6	4,787
EVP-05	08/02/2020	4460.00	GL-14E	Conecta Superfie	4.75	4.30	BAÚL	19.16	1.02	61	1,172.5	41,407
EVP-06	08/02/2020	4460.00	GL-13E	Conecta Superfie	4.29	4.02	BAÚL	16.18	0.65	39	629.8	22,241
EVP-07	08/02/2020	4475.00	GL 14	Conecta Superfie	4.08	3.83	BAÚL	14.66	0.72	43	629.3	22,223
EVP-08	08/02/2020	4515.00	RP 500	RP 500	5.30	5.40	BAÚL	26.85	0.51	31	821.6	29,015
EVP-09	08/02/2020	4515.00	RP 09W	Conecta Superfie	4.13	3.63	BAÚL	14.06	0.13	8	109.7	3,874
EVP-10	08/02/2020	4515.00	GL-14E	Conecta Superfie	5.08	4.27	BAÚL	20.35	0.19	11	230.6	8,143
EVP-11	09/02/2020	4530.00	GL-02W	Ventilador 60k cfm	1.47	∅	CIRCULAR	1.70	24.83	1490	1,823.2	64,386
EVP-12	08/02/2020	4530.00	GL 13	Conecta Superfie	4.72	5.18	BAÚL	22.93	0.07	4	95.0	3,355
EVP-13	08/02/2020	4530.00	CX 532-N	Conecta Superfie	4.53	4.18	BAÚL	17.76	0.14	8	146.8	5,185
EVP-14	08/02/2020	4530.00	GL 06	Ventilador 30k cfm	4.05	4.10	BAÚL	15.58	0.42	25	1,104.0	38,987
Total											8,396.2	296,510

Nota: Elaboración propia

Tabla 12*Estaciones principales de ventilación-Salida de aire*

Est.	Fecha	Ubicación			Sección				Vel.		Caudal	
		Nivel	Labor	Referencia	Ancho (m)	Alto (m)	Forma	Área (m2)	m/s	m/min	m3/min	Cfm
EVP-01	08/02/2020	4460.00	GL 15	Conecta Superficie	4.30	4.23	BAÚL	17.06	0.20	12	209.6	7,402
EVP-02	08/02/2020	4460.00	GL 01	Conecta Superficie	4.15	4.22	BAÚL	16.43	0.52	31	511.4	18,061
EVP-03	08/02/2020	4475.00	GL-01E	Conecta Superficie	4.61	4.28	BAÚL	18.51	0.35	21	383.7	13,551
EVP-04	08/02/2020	4475.00	GL 05	Conecta Superficie	4.30	4.06	BAÚL	16.38	0.16	10	161.4	5,701
EVP-05	08/02/2020	4475.00	GL-04E	Conecta Superficie	4.40	4.45	BAÚL	18.37	0.73	44	806.9	28,495
EVP-06	08/02/2020	4530.00	GL-15E	Conecta Superficie	4.56	4.25	BAÚL	18.18	0.21	13	234.3	8,275
EVP-07	08/02/2020	4475.00	TJ-09	Conecta Superficie	3.77	3.43	BAÚL	12.13	1.54	92	1,120.8	39,579
EVP-08	08/02/2020	4530.00	RP530	Bocamina	4.66	4.21	BAÚL	18.40	0.38	23	414.7	14,644
EVP-09	08/02/2020	4475.00	GL-02E	Ventilador de 60k cfm	1.46	∅	CIRCULAR	1.67	22.14	1329	2,224.4	78,554
EVP-10	09/02/2020	4530.00	GL-03E	Ventilador de 60k cfm	1.46	∅	CIRCULAR	1.67	24.73	1484	2,483.6	87,708
Total											8,550.8	301,970

Nota: Elaboración propia

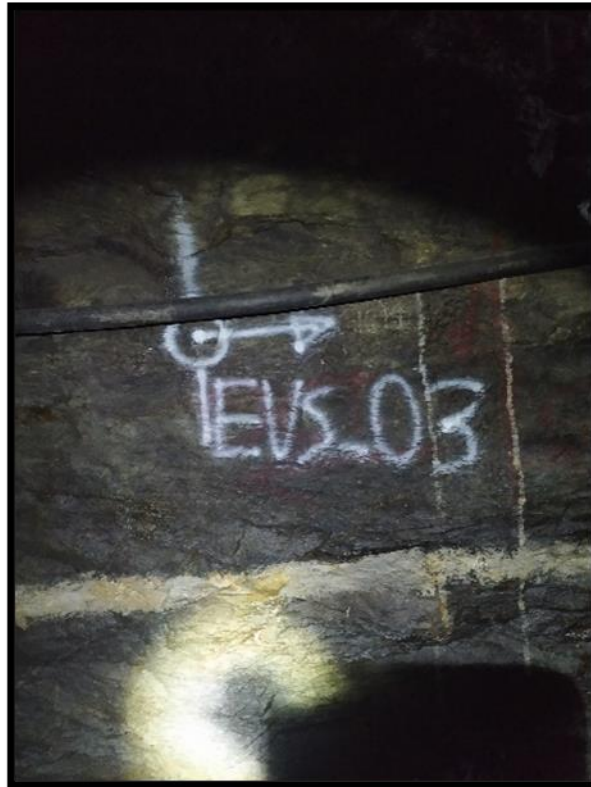
Estaciones secundarias: 34 puntos.

Las estaciones de ventilación secundarias, se ubican en las labores de mayor representatividad del flujo de aire, contándose un total de 34 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.

Figura 12

Estación de ventilación secundaria Rp Carmen



Nota: Evidencia fotográfica en Rp Carmen Nv 4460

Figura 13

Punto de sección de control



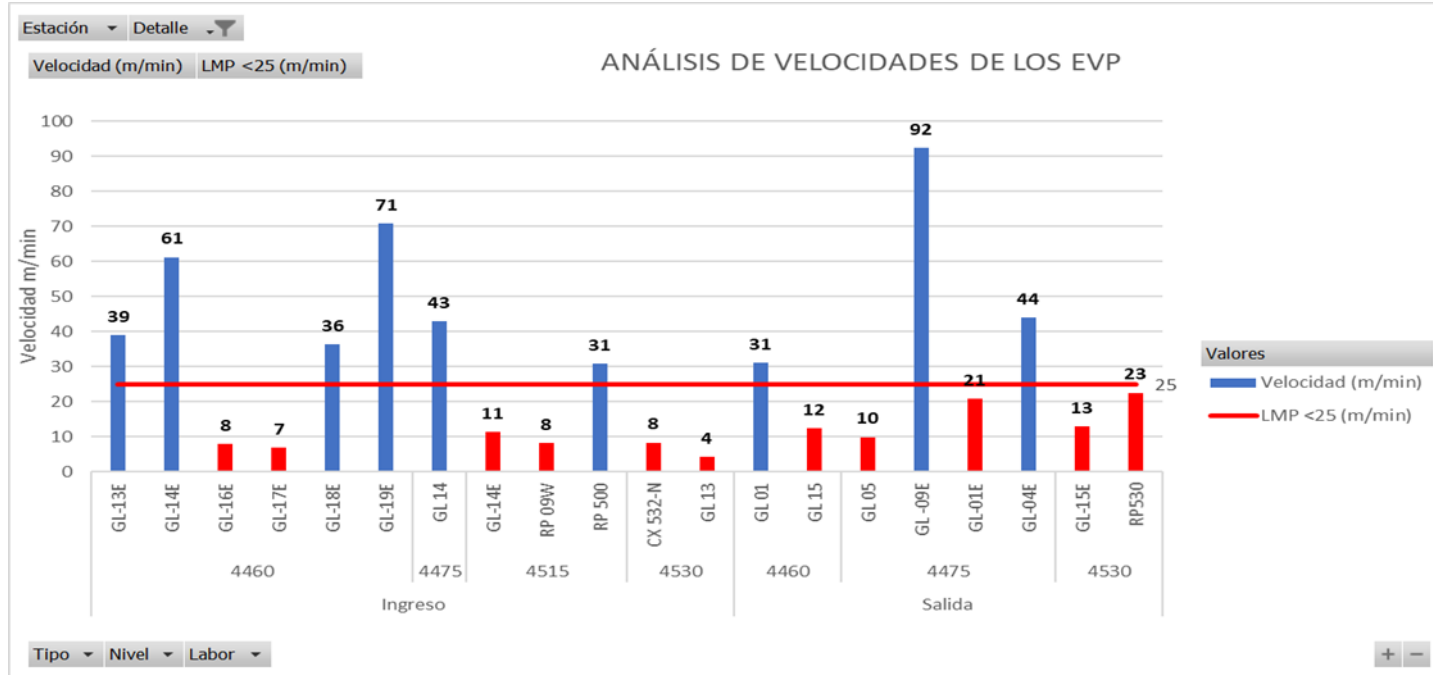
Nota: Evidencia fotográfica en Rp Carmen Nv 4460

4.1.2 Análisis de velocidad de aire

Se encontró 11 puntos (marcados en rojo) en los cuales la velocidad es menor a 25 m/min según lo establecido en el D.S. 024-2016-EM y su modificatoria D.S. 023-2017-EM.

Figura 14

Análisis de velocidades de los EVP

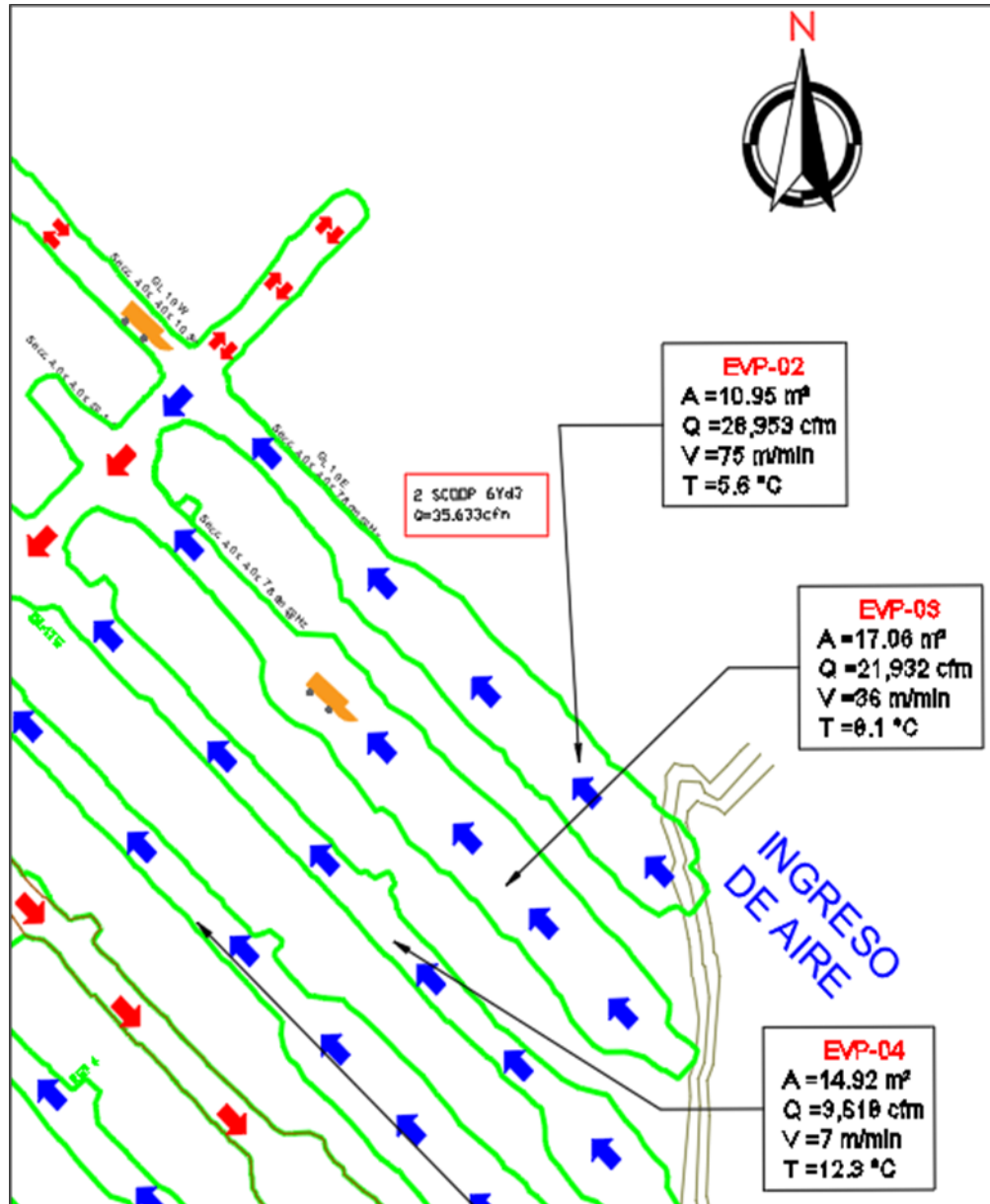


Nota: Elaboración propia

Un ejemplo de velocidad inferior al LMP (25m/min) en estaciones de ventilación primario es el EVP4 que tiene por ubicación el nivel 4460, que tiene una velocidad de 7m/min como se puede apreciar en la Figura 13.

Figura 15

Velocidad de EVP 04 de 7m/min ubicado en el Nv 4460



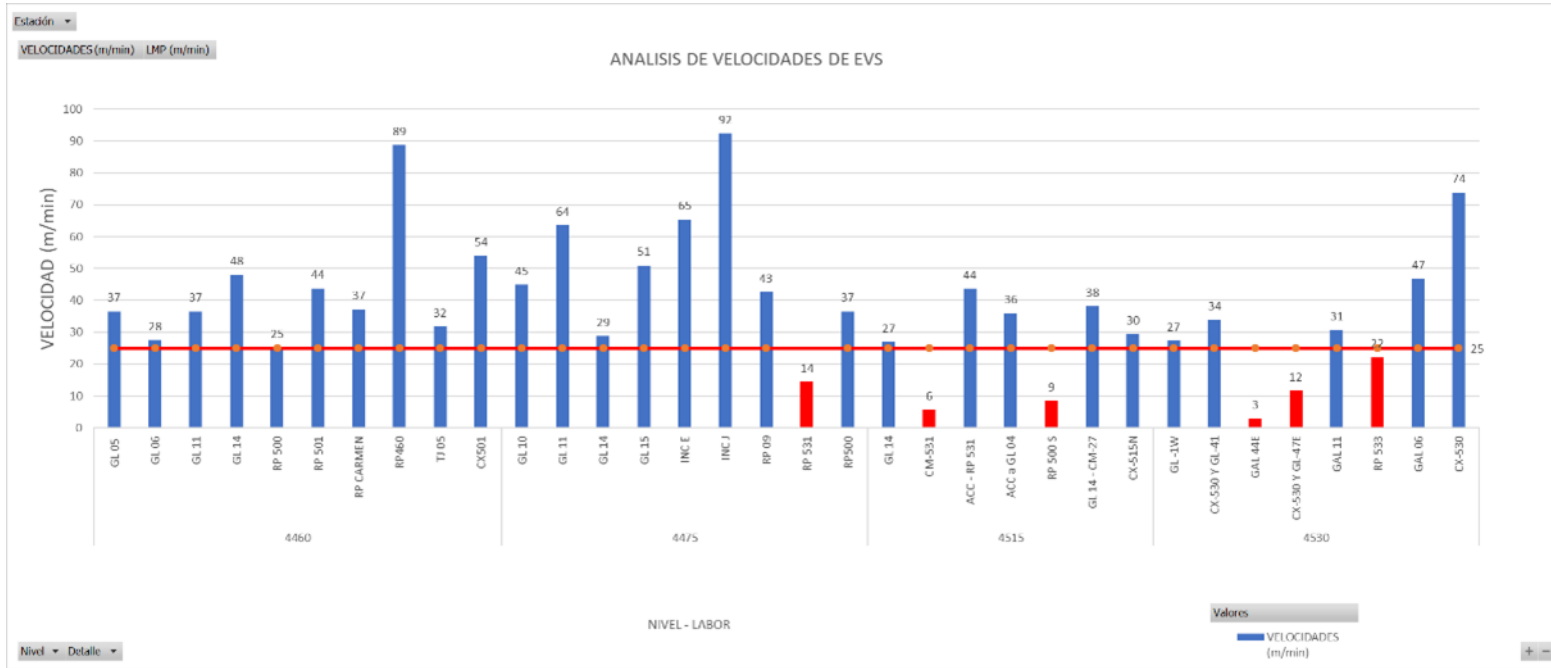
Nota: Elaboración propia

4.1.3 Análisis de los EVS en los Nv 4460, 4475, 4515 y 4530

Se encontró 06 puntos (marcados en rojo) en los cuales la velocidad es menor a 25 m/min según lo establecido en el D.S. 024-2016-EM y su modificatoria D.S. 023-2017-EM.

Figura 16

Análisis de velocidades de los EVS en los 4 niveles



Nota: Elaboración propia

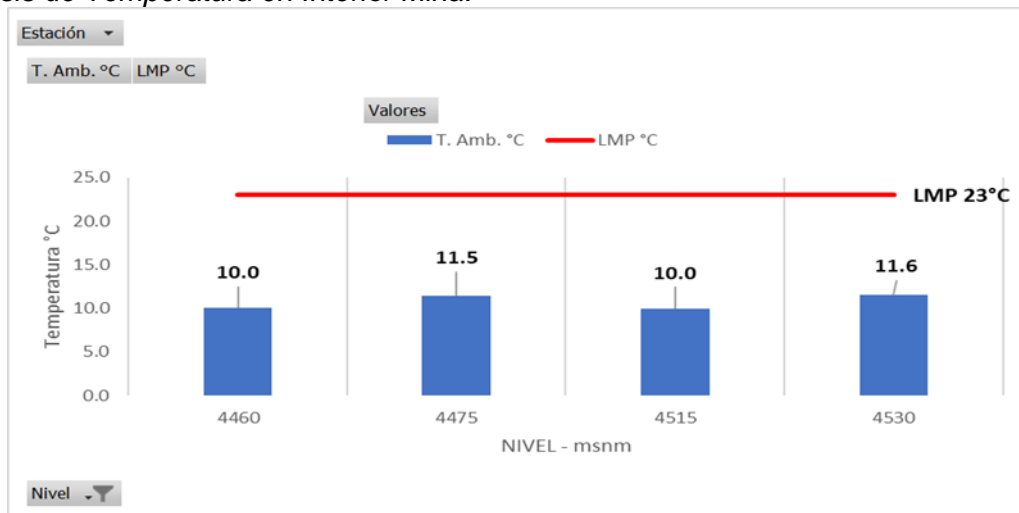
4.1.4 Análisis de temperatura

Se calculó que la temperatura ambiental promedio por nivel no supera el valor establecido en el D.S. 024-2016-EM y su modificatoria D.S. 023-2017-EM (<23 °C).

Interior mina

Figura 17

Análisis de Temperatura en Interior Mina.

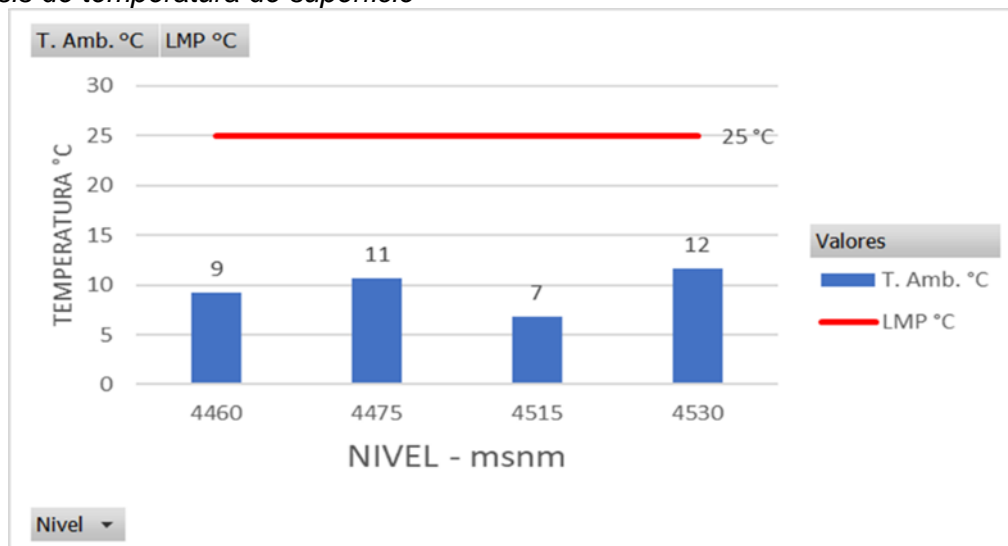


Nota: Elaboración propia

Superficie

Figura 18

Análisis de temperatura de superficie



Nota: Elaboración propia

4.1.5 Cálculo de requerimiento de aire

Requerimiento de aire por trabajadores

El requerimiento de aire para el personal se calcula basándose en el Artículo 247 del Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, que indica que la cantidad de aire requerida por persona es de 6 m³/min cuando la altitud supere los 4,000 msnm. De esta manera se calcula lo que indica en la tabla 5, 3.

Tabla 13

Requerimiento de aire por personal

Personal	Total/ gdia	m ³ /min (*)	CFM	Distribución (%)
ZONA CRUZ DE ORO	62	372	13,137	90%
CONTINGENCIA (10%)	7	42	1,483	10%
QTr	69	414	14,620	100%

Nota: Elaboración propia

Requerimiento de aire por equipos petroleros

Del mismo modo se estimó el requerimiento de aire proyectado para equipos petroleros. De acuerdo a la información proporcionada por la unidad minera y al ANEXO 38 del Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería. Se calculó un requerimiento de aire por equipos petroleros de 136,533 cfm. Ver Tabla 14.

Tabla 14

Requerimiento de aire por equipos Diesel

Ítem	DESCRIPCIÓN	Equipo	Pot. Nominal	Pot. Efectiva	Factor de Corrección por altura	Dm (%)	Fu (%)	m ³ /min	cfm	DIST. %
1	CARGUIO	Scooptram 6yd3	280	215.6	0.77	0.91	0.86	505	17,816	50%
2		Scooptram 6yd3	280	215.6	0.77	0.75	0.86	416	14,684	
3		Scooptram 6yd3	280	215.6	0.77	0.92	0.86	510	18,012	
4		Scooptram 6yd3	280	215.6	0.77	0.92	0.86	510	18,012	
5	PERFORACIÓN	Simba S1D	172	132.44	0.77	0.92	0.19	70	2,459	4%
6		Simba S7D	70	53.9	0.77	0.92	0.19	28	1,001	
7		Jumbo Frontonero S1D	77	59.29	0.77	0.78	0.19	26	933	
8		Jumbo Frontonero S1D	77	59.29	0.77	0.88	0.19	30	1,053	
9	SOSTENIMIENTO	Jumbo Empernador Bolter	97	74.69	0.77	0.92	0.19	39	1,387	4%
10		Jumbo Empernador Bolter	97	74.69	0.77	0.92	0.19	39	1,387	
11		Scaler	101	77.77	0.77	0.92	0.43	92	3,249	
12	AUXILIAR	Telehandler	110	84.7	0.77	0.90	0.43	98	3,461	3%
13	TRANSPORTE	Camión	148	113.96	0.77	0.70	0.19	46	1,610	39%
14		Camioneta	166	127.82	0.77	0.70	0.19	51	1,806	
15		Camioneta	166	127.82	0.77	0.70	0.19	51	1,806	
16		Volquete	440	338.8	0.77	0.70	0.48	339	11,965	
17		Volquete	440	338.8	0.77	0.70	0.48	339	11,965	
18		Volquete	440	338.8	0.77	0.70	0.48	339	11,965	
19		Volquete	440	338.8	0.77	0.70	0.48	339	11,965	
								136,533		100%

Nota: Elaboración propia

Requerimiento de aire por temperatura en las labores

Según el análisis realizado después del levantamiento de campo de velocidades y T° se encontraron 0 niveles con temperaturas por encima de los 23°C, según el reglamento se debe considerar el número de niveles:

Tabla 15

Requerimiento de aire por Temperatura en las labores

Velocidad mínima	
Temperatura seca (°C)	Velocidad mínima (m/min)
<24	0.00
24 a 29	30.00
Q _{Te}	0 cfm

Nota: Elaboración propia

Requerimiento de aire por consumo de madera

Acogiéndose a la norma vigente D.S. 024-2016-EM y su modificatoria según el D.S. N° 023-2017-EM.

Artículo 252, inciso d) La madera empleada al interior de la mina para labores de sostenimiento, entre otras, genera emisiones de gases de CO₂ y CH₄, factor que debe ser tomado en cuenta para el cálculo del aire necesario al interior de la mina. Este factor se determina de manera proporcional a la producción. Para el cálculo debe considerarse la siguiente escala:

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

Tabla 16

Requerimiento por consumo de madera

Q _{Ma}	-
-----------------	---

Nota: Elaboración propia

Requerimiento de aire por consumo de explosivo

No se considera debido a que el requerimiento de aire por el consumo de equipos petroleros es de mayor incidencia.

Requerimiento de aire por fugas

Para el cálculo de requerimiento de aire por fugas, se procede a multiplicar el 15% la sumatoria de requerimiento por personal, consumo de madera, temperatura y equipos petroleros.

Tabla 17

Requerimiento de aire por fugas

Q_{Tr}	14,620	cfm
Q_{Ma}	0	cfm
Q_{Te}	0	cfm
Q_{Eq}	136,533	cfm
Q_{Fu}	22,673	cfm

Nota: Elaboración propia

Requerimiento de aire global

Para el cálculo del requerimiento global de aire actual, se obtuvo 173,826 cfm para el sistema de ventilación de la mina Cruz de Oro.

Tabla 18

Requerimiento Total de aire

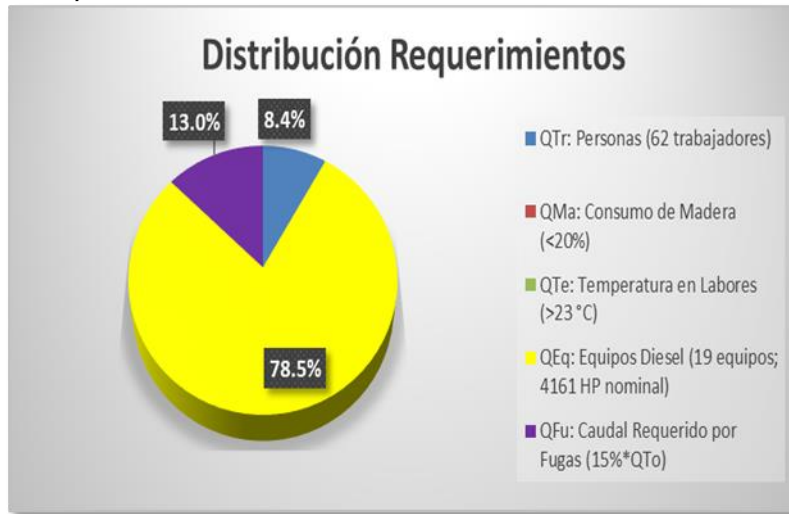
Ítem	Distribución Requerimientos	m ³ /min	cfm
1	Q_{Tr} : Personas (62 trabajadores)	414	14,620
2	Q_{Ma} : Consumo de Madera (<20%)	0	0
3	Q_{Te} : Temperatura en Labores (>23 °C)	0	0
4	Q_{Eq} : Equipos Diesel (19 equipos; 4161 HP nominal)	3,866	136,533
5	Q_{Ex} : Explosivos	0	0
	Caudal Requerido $Q_{T1} = Q_{Tr} + Q_{Ma} + Q_{Te} + Q_{Eq}$	4,280	151,153
6	Q_{Fu} : Caudal Requerido por Fugas (15% * Q_{T0})	642	22,673
	Caudal Requerido $Q_{T0} = Q_{T1} + Q_{Fu}$	4,922	173,826

Nota: Elaboración propia

Distribuyéndose de la siguiente manera:

Figura 19

Distribución de Requerimientos



Nota: Elaboración propia

4.1.6 Balance de ventilación actual

Balance y cobertura actual

Considerando el aire requerido de acuerdo con el D.S. 023-2017 EM en su artículo 252, la cobertura actual del sistema de ventilación global es de 171% con un superávit de 122,684 cfm.

Tabla 19

Balance total de aire

Balance total de aire		
	m ³ /min	cfm
Caudal de aire		
Total de aire requerido	4,922	173,826
Ingreso de aire	8,396	296,510
Salida de aire	8,551	301,970
Cobertura (%)		171%

Nota: Elaboración propia

Balance de aire por niveles

- Balance de aire del Nv 4460

Figura 20

Vista Planta Nv 4460

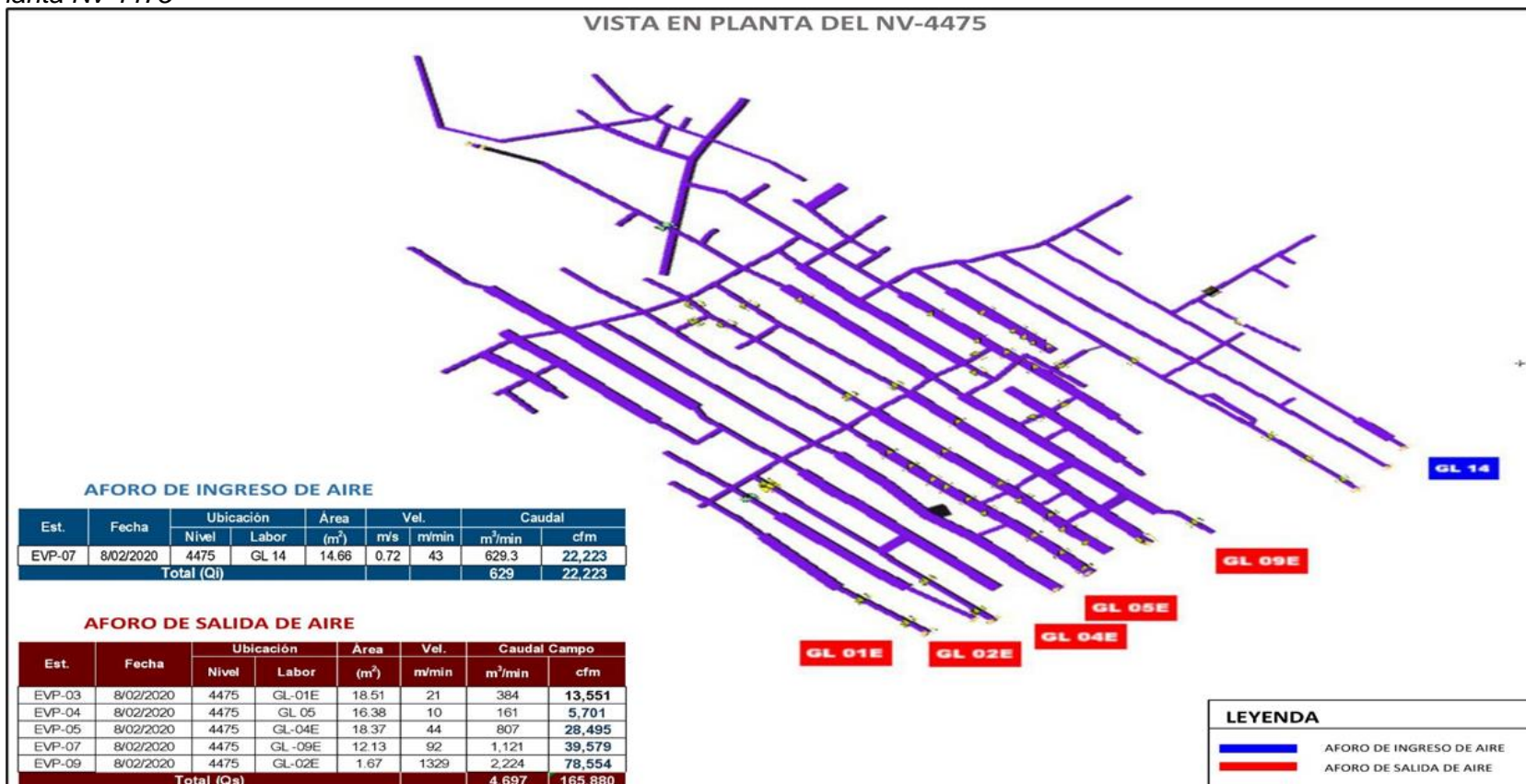


Nota: Elaboración propia

Balance de aire del Nv 4475

Figura 21

Vista Planta Nv 4475

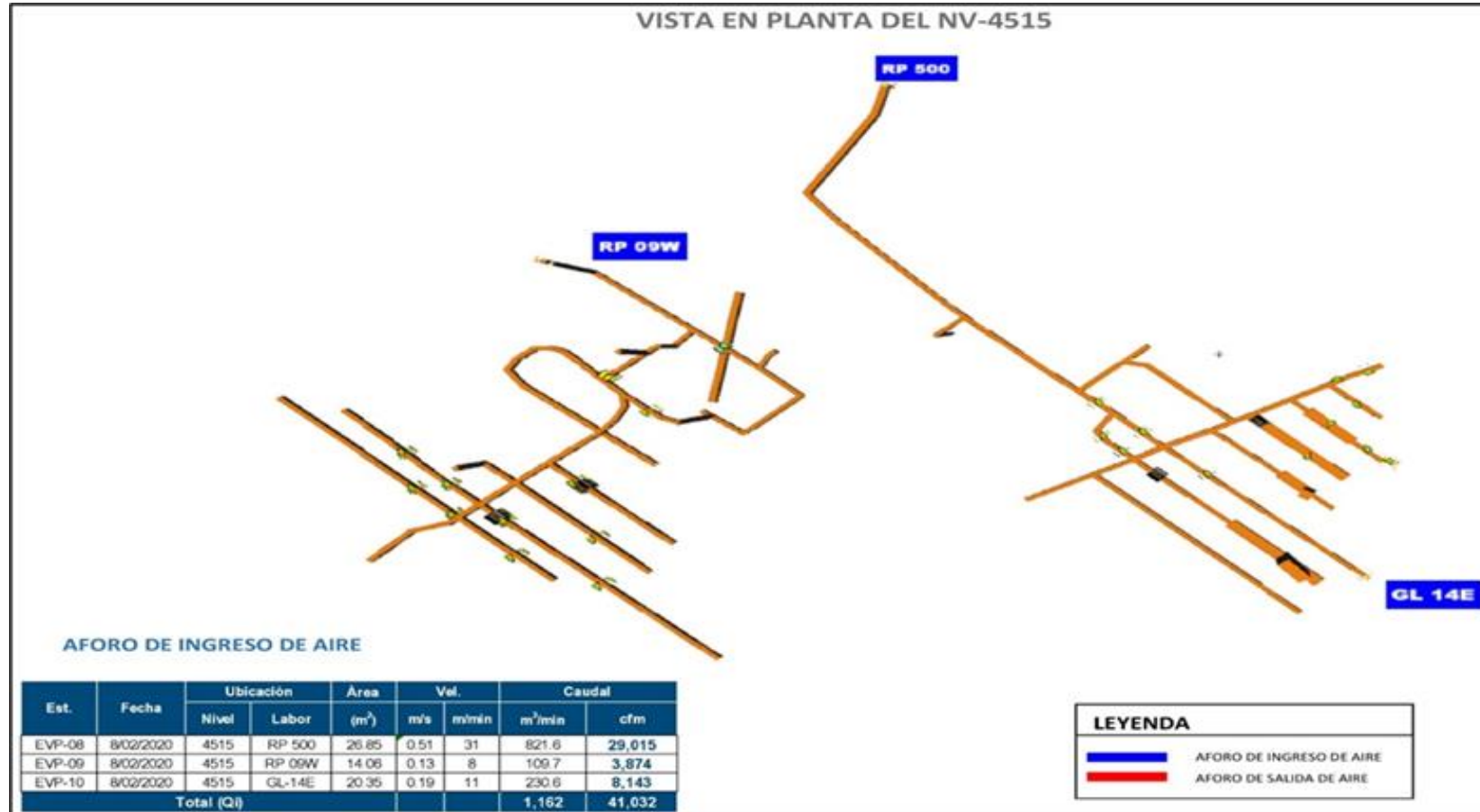


Nota: Elaboración propia

- Balance de aire del Nv 4515

Figura 22

Vista Planta Nv 4515

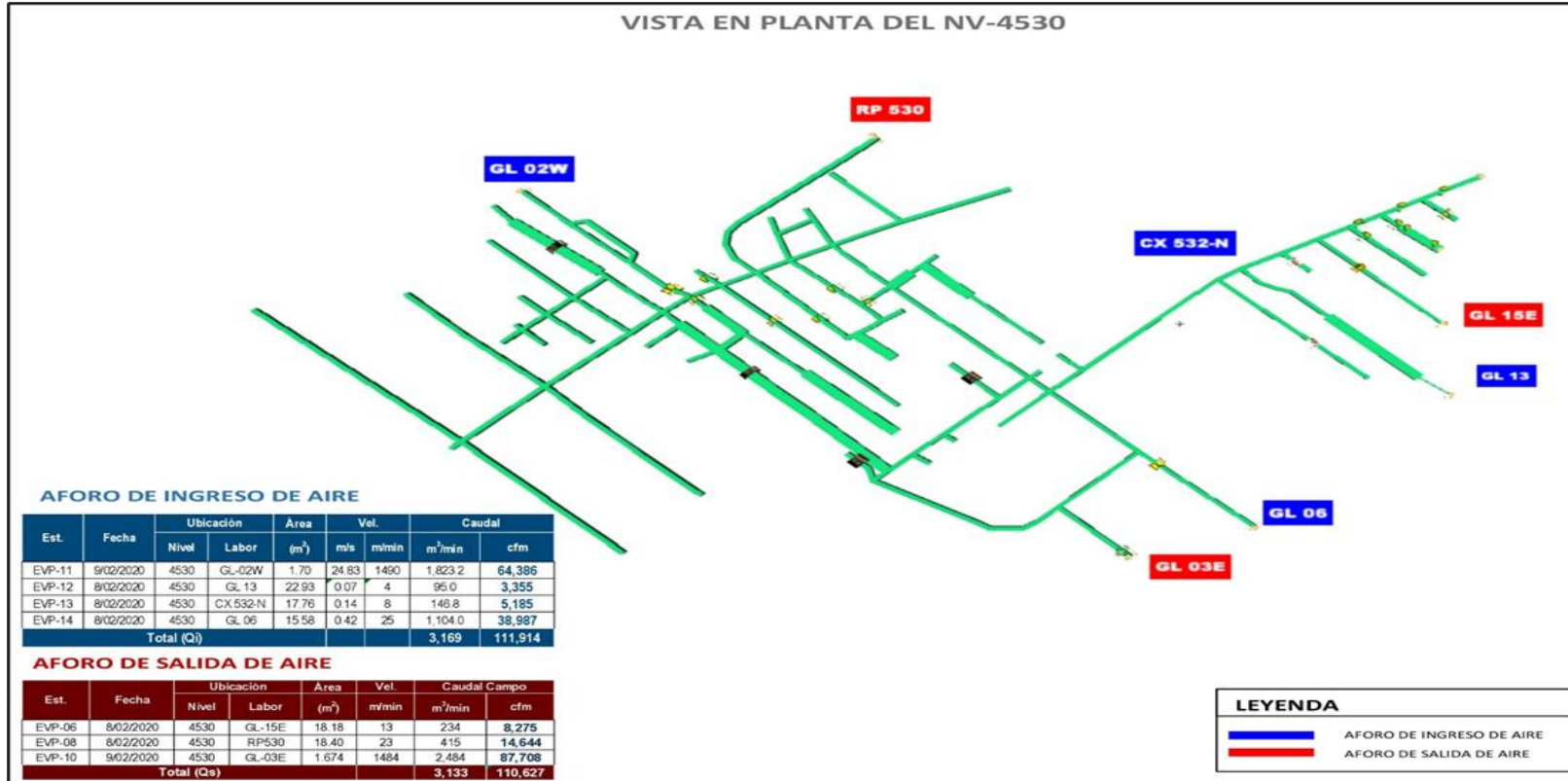


Nota: Elaboración propia

Balance de aire del Nv 4530

Figura 23

Vista Planta Nv 4530



Nota: Elaboración propia

4.1.7 Requerimiento y cobertura por zonas

NIVEL 4460

Se han dividido los 4 niveles de la mina en zonas y se fue analizando el requerimiento y la cobertura, a continuación, analizaremos el nivel 4460:

Tabla 20

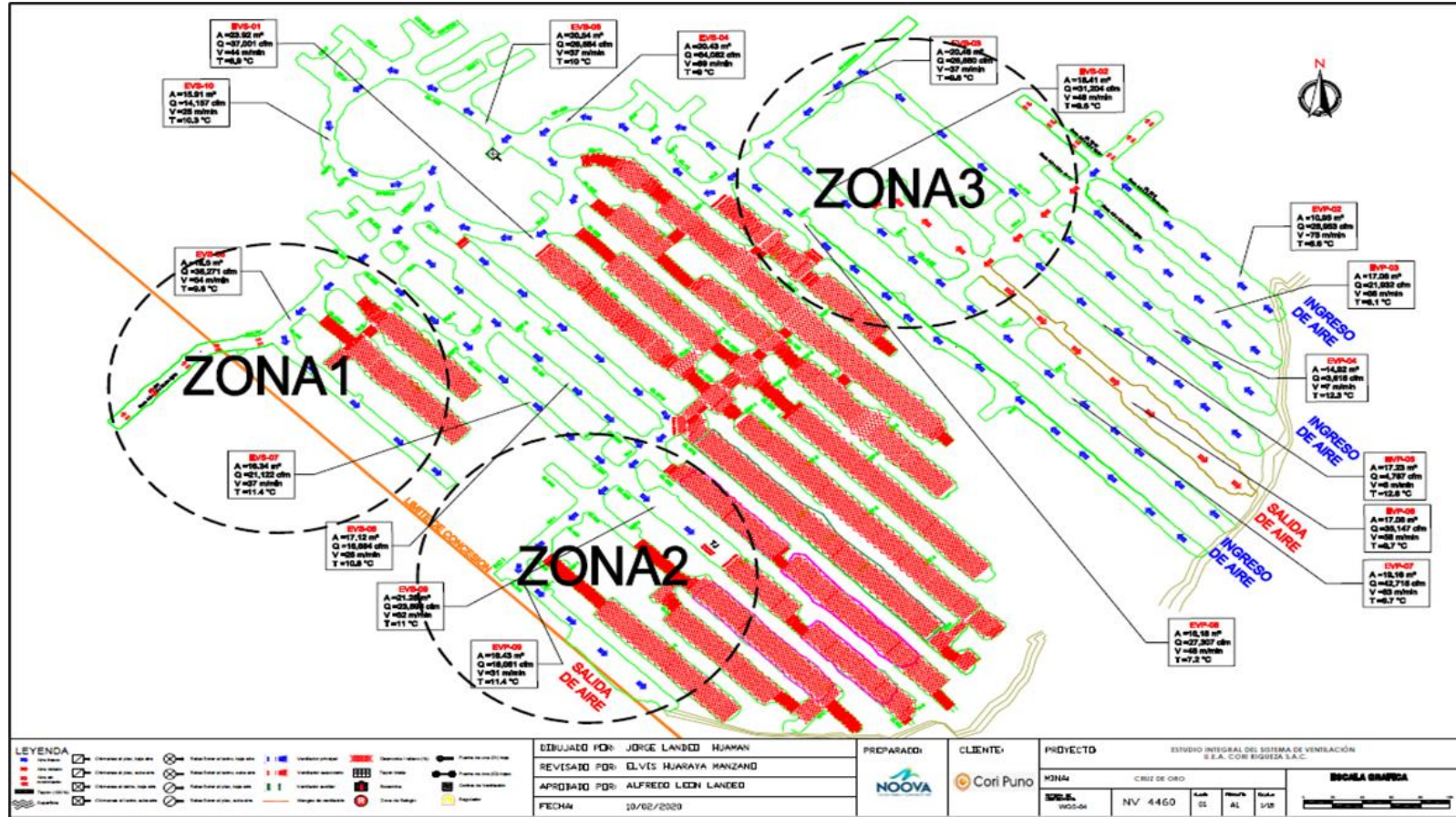
Requerimiento y cobertura de zonas del Nv 4460

NIVEL 4460						
ZONA 1						
Descripción	Detalle	Cantidad	m ³ /min	cfm	INGRESO	COBERTURA
PERSONAL	Operador	2	12	423.8		
EQUIPO	Scooptram 6yd3	1	510	18,012.2	35,271	191%
			Total de Aire Requerido	18,436.0		
ZONA 2						
Descripción	Detalle	Cantidad	m ³ /min	cfm	INGRESO	COBERTURA
PERSONAL	Operador	4	24	848		
EQUIPO	Scooptram 6yd3	1	505	17,816		
EQUIPO	Volquete	1	339	11,965	37,806	123%
			Total de Aire Requerido	30,629		
ZONA 3						
Descripción	Detalle	Cantidad	m ³ /min	cfm	INGRESO	COBERTURA
PERSONAL	Operador	4	24	848		
EQUIPO	Scooptram 6yd3	2	1009	35,633		
EQUIPO	Volquete	1	339	11,965	129,312	267%
			Total de Aire Requerido	48,445		

Nota: Elaboración propia

Figura 24

Vista planta zonas del Nv 4460



Nota: Elaboración propia

NIVEL 4475

Se han dividido los 4 niveles de la mina en zonas y se fue analizando el requerimiento y la cobertura, a continuación, analizaremos el nivel 4475:

Tabla 21

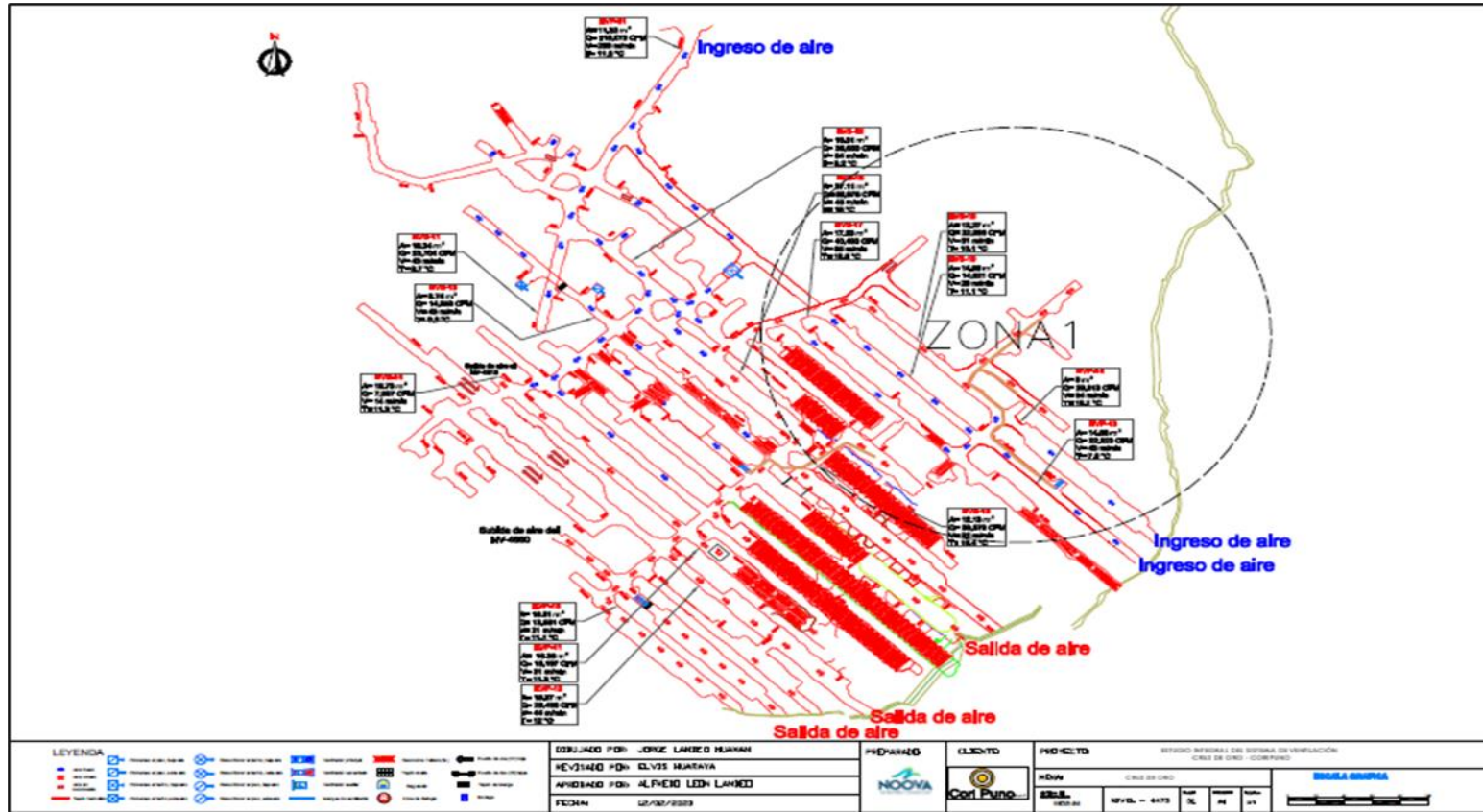
Requerimiento y Cobertura de la Zona del Nivel 4475

NIVEL 4475						
ZONA 1						
Descripción	Detalle	Cantidad	m ³ /min	cfm	INGRESO	COBERTURA
PERSONAL	Operador	4	24	847.6		
EQUIPO	Scooptram 6yd3	1	510	18,012.2		
EQUIPO	Simba S1D	1	70	2,458.8	82,136	436%
			Total de Aire Requerido	18,859.7		

Nota: Elaboración propia

Figura 25

Vista planta zonas del Nv 4475



Nota: Elaboración propia

NIVEL 4515

Se han dividido los 4 niveles de la mina en zonas y se fue analizando el requerimiento y la cobertura, a continuación, analizaremos el nivel 4515.

Tabla 22

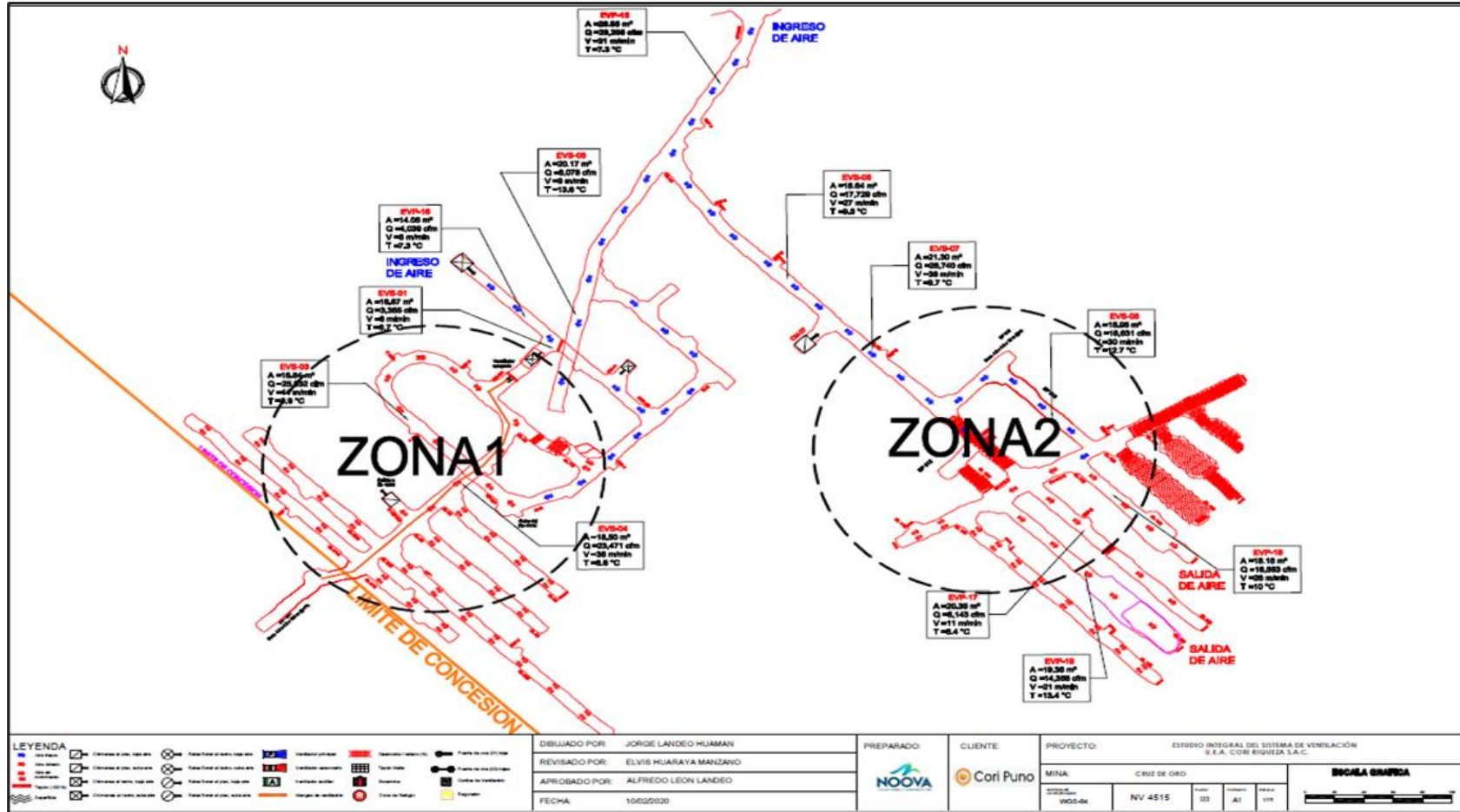
Requerimiento y Cobertura de las zonas del Nivel 4515

NIVEL 4515						
ZONA 1						
Descripción	Detalle	Cantidad	m ³ /min	cfm	INGRESO	COBERTURA
PERSONAL	Operador	3	18	635.7		
EQUIPO	Scooptram 6yd3	2	1020	36,024.4	25,932	71%
			Total de Aire Requerido	36,660.0		
ZONA 2						
Descripción	Detalle	Cantidad	m ³ /min	cfm	INGRESO	COBERTURA
PERSONAL	Operador	3	18	635.7		
EQUIPO	Scooptram 6yd3	2	1020	36,024.4	28,740	78%
			Total de Aire Requerido	36,660.0		

Nota: Elaboración propia

Figura 26

Vista planta zonas del Nv 4515



Nota: Elaboración propia

NIVEL 4530

Se han dividido los 4 niveles de la mina en zonas y se fue analizando el requerimiento y la cobertura, a continuación, analizaremos el nivel 4530.

Tabla 23

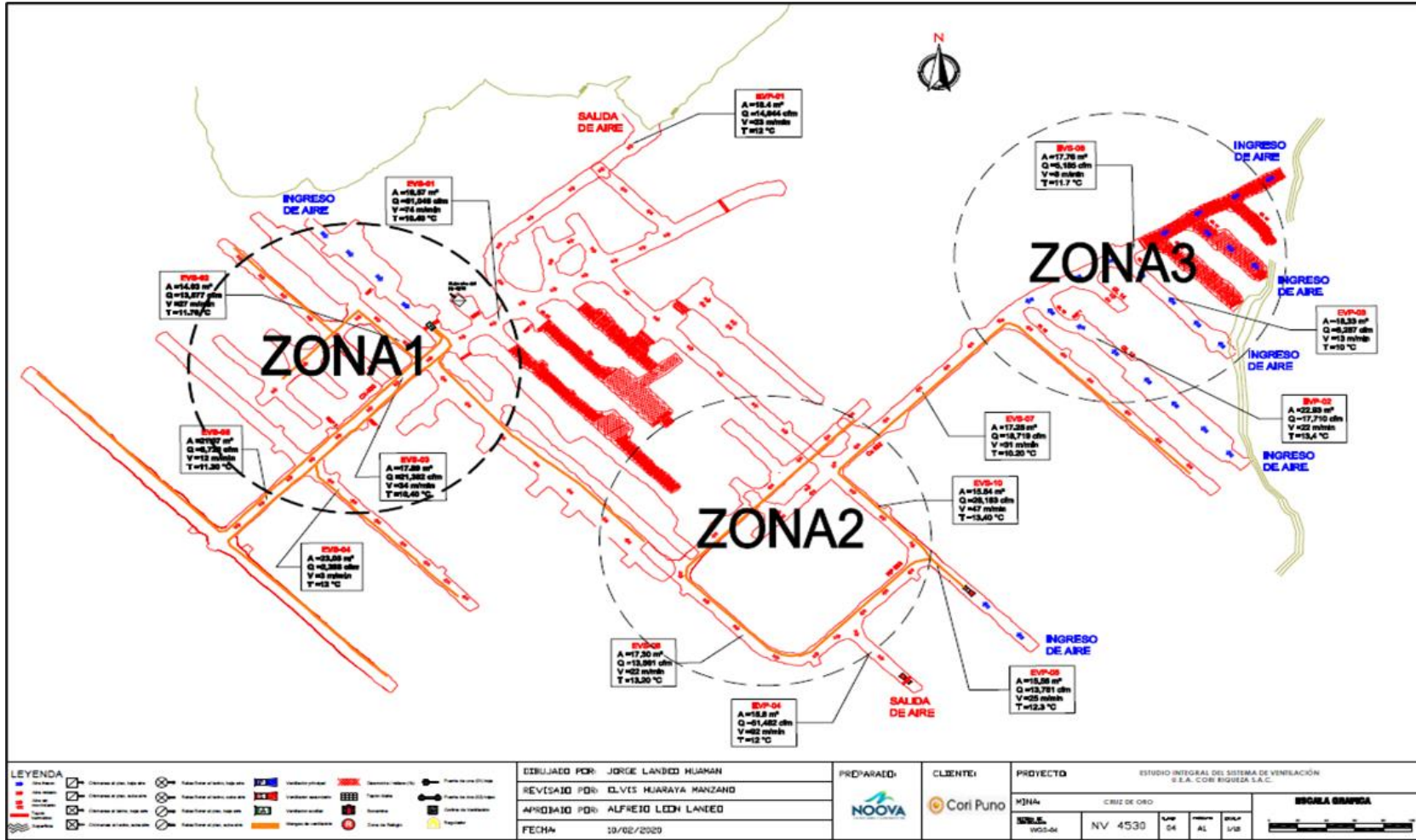
Requerimiento y Cobertura de las zonas del nivel 4530

NIVEL 4530						
ZONA 1						
Descripción	Detalle	Cantidad	m ³ /min	cfm	INGRESO	COBERTURA
PERSONAL	Operador	6	36	1,271.3		
EQUIPO	Scooptram 6yd3	2	1020	36,024.4	30,000	80%
			Total de Aire Requerido	37,295.7		
ZONA 2						
Descripción	Detalle	Cantidad	m ³ /min	cfm	INGRESO	COBERTURA
PERSONAL	Operador	3	18	635.7		
EQUIPO	Scooptram 6yd3	2	1020	36,024.4	73,751	201%
			Total de Aire Requerido	36,660.0		
ZONA 3						
Descripción	Detalle	Cantidad	m ³ /min	cfm	INGRESO	COBERTURA
PERSONAL	Operador	3	18	635.7		
EQUIPO	Simba S1D	2	139	4,917.6	31,182	562%
			Total de Aire Requerido	5,553.3		

Nota: Elaboración propia.

Figura 27

Vista planta zonas del Nv 4530



Nota: Elaboración propia

4.1.8 Gradiente geotérmico

Se midió la Temperatura de roca (°C) en puntos estratégicos de la MINA CRUZ DE ORO para luego realizar el análisis de los Nv 4311, 4460 y 4530.

Tabla 24

Datos medidos en campo para calcular el gradiente geotérmico

Nivel	Detalle	Condiciones Ambientales				Temperatura de roca (°C)
		T. Amb.(°C)	Twb(°C)	Td(°C)	HR(%)	
4311	40m Bm 311 (esperanza)	8.2	7.4	6.8	92	4.90
4311	50m tope (esperanza)	8.2	7.4	6.8	92	5.26
4460	Gal 19e	9.6	7.7	5.9	76	6.10
4530	Rp 530	13.4	10.4	8	69.6	6.86

Nota: Elaboración propia

Tabla 25

Cálculo del Gradiente Geotérmico

Variación de altura (m)	Variación de temperatura por cada 100m
219	0.89

Nota: Elaboración propia

El gradiente geotérmico es 0.89, esto significa que a medida que suba o baje 100 metros la temperatura va a variar en 0.89 °C.

4.1.9 Costo de energía actual

El consumo de energía se calcula dividiendo el costo de energía por kilowatts entre el caudal de ingreso en cfm.

Tabla 26

Consumo de Energía de un Ventilador Secundario

Ítem	Codigo Ventilac.	Marca	Labor	Caudal Nominal cfm	Pot. Nom. HP	Pot. Nom. Kw	I	V	Pot. Real Kw	Costo Energía. US\$/Kw-Hr	Costo US\$/Hr	Costo Energia US\$/año	R.P. %	Distrib. Energía
Ventilador Secundario														
1	V-01	AIRTEC	Tj 02E	60,000	100	75	69.8	433.5	30.26	0.1	3.03	26,141	41%	27%
2	TMV-02	AIRTEC	Gal 2	60,000	100	75	91.1	437.7	39.87	0.1	3.99	34,449	53%	35%
3	V-14	TOMOCORP	Gl 03e	60,000	150	112	99.2	428.9	42.55	0.1	4.25	36,763	38%	38%
Sub total				180,000	350	261			112.68			97,354		100%

Nota: Elaboración propia

Tabla 27

Consumo de Energía de un Ventilador Auxiliar

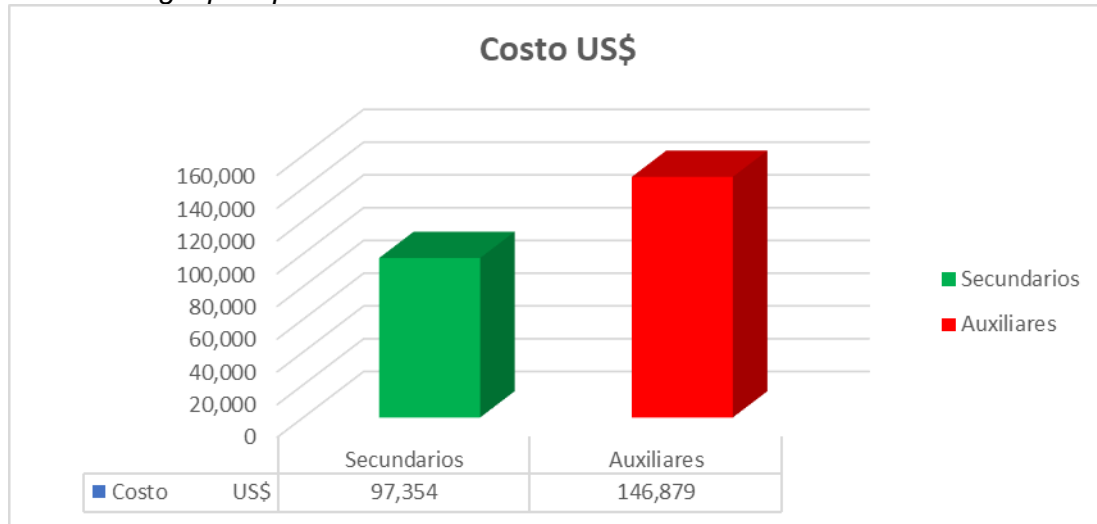
Ítem	Codigo Ventilac.	Marca	Labor	Caudal	Pot.	Pot.			Pot.	Costo	Costo	Costo	R.P. %	Distrib. Energía
				Nominal cfm	Nom. HP	Nom. Kw	I	V	Real Kw	Energía. US\$/Kw-Hr	US\$/Hr	Energía US\$/año		
Ventilador auxiliar														
1	TVC 169	TOMOCORP	Gal 14e/ Nv 4460	30,000	75	56	60	447	26.7	0.1	2.67	23,079	48%	16%
2	V-6	TOMOCORP	Rp 531	30,000	75	56	80	426	34.0	0.1	3.40	29,415	61%	20%
3	TVC 173	TOMOCORP	Tj 08N	30,000	75	56	87	417	36.4	0.1	3.64	31,428	65%	21%
4	TBC-139	TOMOCORP	Gal 14e/ Nv 4530	30,000	75	56	94	428	40.4	0.1	4.04	34,880	72%	24%
5		TOMOCORP	Gal 06	30,000	75	56	76	427	32.5	0.1	3.25	28,077	58%	19%
Sub Total				150,000	375	280			170			146,879	100%	

Nota: Elaboración propia

El consumo anual en ventilación es de 244,233 US\$/año y los ingresos son 296,510 cfm como muestra el siguiente gráfico de acuerdo con el tipo de ventiladores.

Figura 28

Costo de energía por tipo de ventilador



Nota: Elaboración propia

Tabla 28

Índice de costo de energía

MINA	Caudal de Ingreso (CFM)	Costo por consumo de Energía (US\$)	Índice de Costo de Energía (US\$/CFM)
CORIPUNO	296,510.00	244,233	0.82

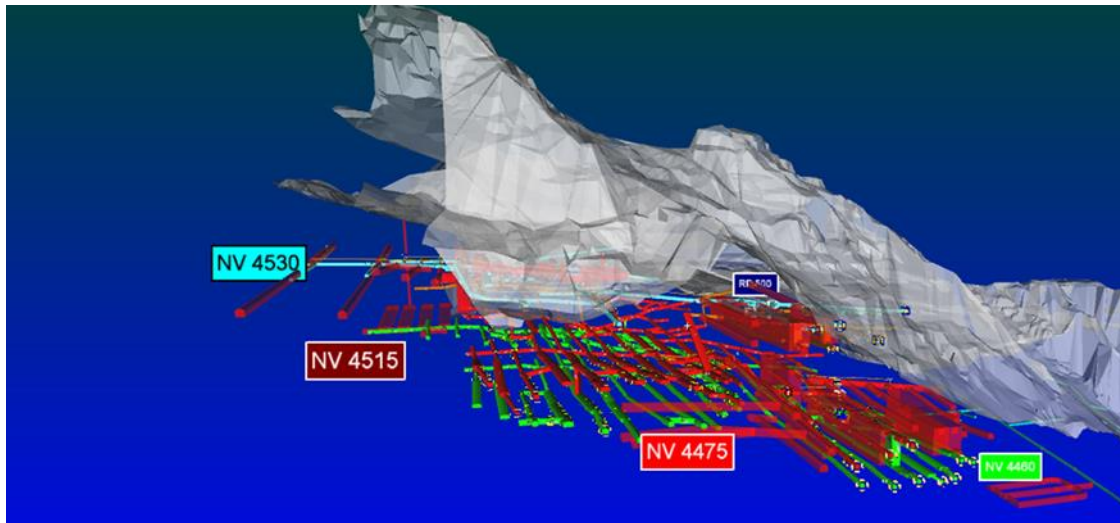
Nota: Elaboración propia

4.2 Modelamiento del sistema de ventilación en Ventsim Design

Una vez procesado la data tomada en campo, se procede al modelamiento 3D del sistema de ventilación en este caso en el software Ventsim Design 5, caracterizando las labores de la mina como cruceros, galerías, rampas, chimeneas, etc.

Figura 29

Vista isométrica 3D del modelamiento de la mina Cruz de Oro



Nota: Elaboración propia

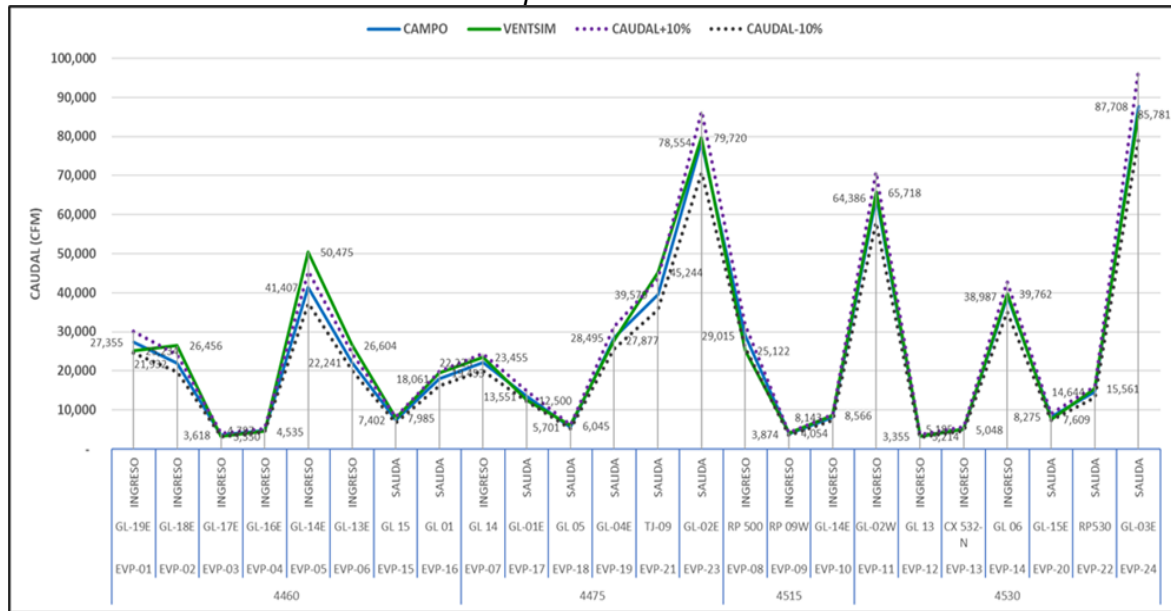
4.2.1 Calibración del Modelo 3D Ventsim

La calibración requiere de datos o parámetros del lugar mina como: factor de fricción “K”, altitud, temperatura, densidad, presión, costos energía y otros. La correlación de los valores medidos en campo vs. Valores de Ventsim es 8%.

De acuerdo con el fundamento teórico del libro “Ventilación de minas subterráneas” de Pablo Jiménez Ascanio indica que: si la correlación o variación es menor a 10%, entonces entendemos que hay una similitud del modelo con el circuito de ventilación que hay dentro de la mina. Para el caso de estudio de U. M. Cori Riqueza se tiene un 92% de calibración del modelo del sistema de ventilación, se asegura la confiabilidad para iniciar la optimización del sistema proyectado.

Figura 30

Calibración de modelo Ventsim vs. campo



Nota: Elaboración propia

4.2.2 Comprobación de hipótesis

De la siguiente hipótesis general:

El estudio y diseño del sistema de ventilación en el software Ventsim Design 5.2 de la Unidad minera Cruz de Oro, permitirá optimizar el sistema de ventilación actual y proyectada.

Tomando una muestra de 10 datos del caudal de aire actual y proyectada de la ventilación principal de U.M. Cori Riqueza.

Tabla 29*Datos para comprobación de hipótesis*

Ventilación	Ventilación
actual	Proyectada
294,909.78	432,816.50
295,510.02	432,912.64
296,511.13	433,812.78
296,517.27	433,812.85
296,525.63	433,812.95
296,555.48	433,813.15
296,573.66	434,793.27
296,579.71	433,813.49
296,510.85	436,714.67
297,511.23	434,913.83

Nota: Elaboración propia

- **Calculo estadístico descriptivo**

Tabla 30*Estadísticos descriptivos de hipótesis*

	Estadísticos descriptivos				
	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Estándar
Ingreso actual	10	294909.78	297511.23	296370.4760	697.59394
Ingreso proyectado	10	432816.50	436714.67	434121.6130	1127.61723
N válido (por lista)	10				

Nota: Software SPSS

- **Prueba de normalidad**

- Hipótesis nula (Ho): La distribución de datos es normal
- Hipótesis alternativa (H1): La distribución de datos no es normal

Utilizando el programa SPSS Statistics se obtiene:

Tabla 31

Prueba de normalidad Hipótesis general

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Ingreso actual	.380	10	<.001	.793	10	.012
Ingreso proyectado	.308	10	.008	.842	10	.047

a. Corrección de significación de Lilliefors

Nota: Software SPSS

Para $\alpha = 0.05$ (Nivel de significancia)

$1 - \alpha = 0.95$ (Nivel de confianza)

Si $P_v \leq 0.05$ se Rechaza la H_0 .

Si $P_v > 0.05$ se Acepta la H_0

Según Shapiro-Wilk:

$P_v = 0.012$ para la ventilación actual

$P_v = 0.047$ para la ventilación proyectada.

Como $P_v < 0.05$ se Rechaza la H_0 , por lo tanto, las distribuciones no son normales.

▪ **Prueba de homogeneidad de las varianzas**

- Hipótesis nula (H_0): Las dos muestras provienen o tienen las mismas varianzas, son homogéneas.

- Hipótesis alternativa (H_1): Las dos muestras no tienen varianzas homogéneas.

Utilizando el programa Minitab se obtiene:

Prueba e IC para dos varianzas: Ventilacion actual (cfm); Ventilacion proyectada (cfm)

Método

σ_1 : desviación estándar de Ventilacion actual (cfm)

σ_2 : desviación estándar de Ventilacion proyectada (cfm)

Relación: σ_1/σ_2

Se utilizó el método F. Este método es exacto sólo para datos normales.

Estadísticas descriptivas

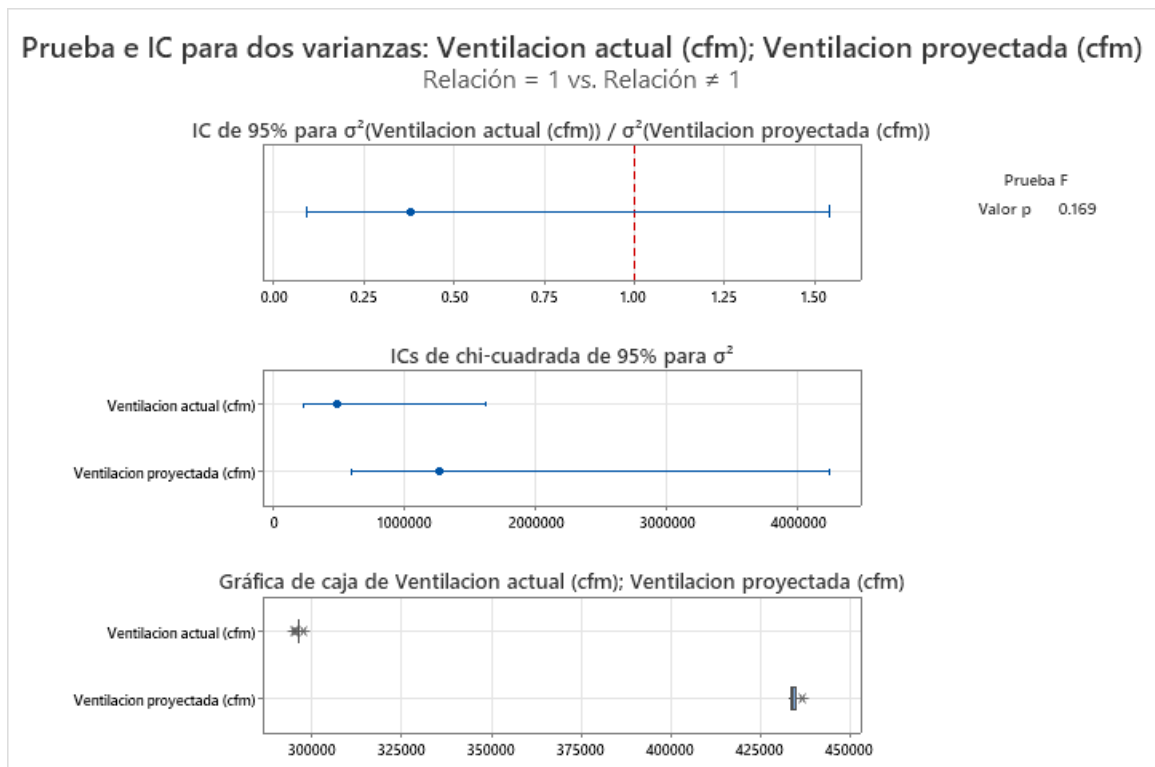
Variable	N	Desv.Est.	Varianza	IC de 95% para σ^2
Ventilacion actual (cfm)	10	697.594	486637.306	(230236.515; 1621890.381)
Ventilacion proyectada (cfm)	10	1127.617	1271520.625	(601578.369; 4237790.744)

Relación de varianzas

Relación estimada	IC de 95% para la relación usando F
0.382721	(0.095; 1.541)

Como $P_v = 0.169 > 0.05$ Entonces se acepta H_0 .

Concluimos que las muestras provienen de varianzas iguales.



▪ **Contrastación de hipótesis**

- **Hipótesis nula (Ho):** La media del estudio y diseño del sistema de ventilación en el software Ventsim Design 5.2 es igual a la media de la evaluación técnica de la cobertura de aire global de la Unidad minera Cruz de Oro
- **Hipótesis alternativa (H1):** La media del estudio y diseño del sistema de ventilación en el software Ventsim Design 5.2 es mayor a la media de la evaluación técnica de la cobertura de aire global de la Unidad minera Cruz de Oro

Utilizando el programa Minitab se obtiene:

Método

μ_1 : media de población de Ventilacion actual (cfm)
 μ_2 : media de población de Ventilacion proyectada (cfm)
 Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Ventilacion actual (cfm)	10	296370	698	221
Ventilacion proyectada (cfm)	10	434122	1128	357

Estimación de la diferencia

IC de 95% para la Diferencia	
Diferencia	diferencia
-137751	(-138645; -136857)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$
 Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
-328.52	15	0.000

Como $P_v = 0 < 0.05$ Entonces se rechaza la H_0 .

Se concluye que el estudio y diseño del sistema de ventilación en el software Ventsim Design 5.2 predomina de la evaluación técnica de la cobertura de aire global de la Unidad minera Cruz de Oro.

4.2.2.3 Requerimiento de aire por temperatura en las labores. La mina “Cruz de Oro” – Cori Puno, no presenta problemas de temperatura por lo cual no se considera el cálculo de requerimiento de aire por temperaturas en las labores.

4.2.2.4 Requerimiento de aire por consumo de madera. De acuerdo a la producción (1100 TMD) el consumo de madera respecto a este no superará el 20% del total de la producción, así como establece el D.S. Nro. 024-2016-EM y su Modificatoria D.S. Nro. 023-2017-EM, por tal motivo no se considera el cálculo de requerimiento de aire por consumo de madera.

4.2.2.5 Requerimiento de aire por consumo de explosivos. No se considera debido a que el requerimiento de aire por el consumo de equipos petroleros es de mayor incidencia.

4.2.2.6 Requerimiento de aire por fugas. Para el cálculo de requerimiento de aire por fugas, se procede a multiplicar el 15% la sumatoria de requerimiento por personal, consumo de madera, temperatura y equipos petroleros.

Tabla 32

Requerimiento de aire por fugas

Q _{Tr}	16,951	cfm
Q _{Ma}	0	cfm
Q _{Te}	0	cfm
Q _{Eq}	156,984	cfm
Q _{Fu}	26,090	cfm

Nota: Elaboración propia

4.3 Presentación y discusión de resultados

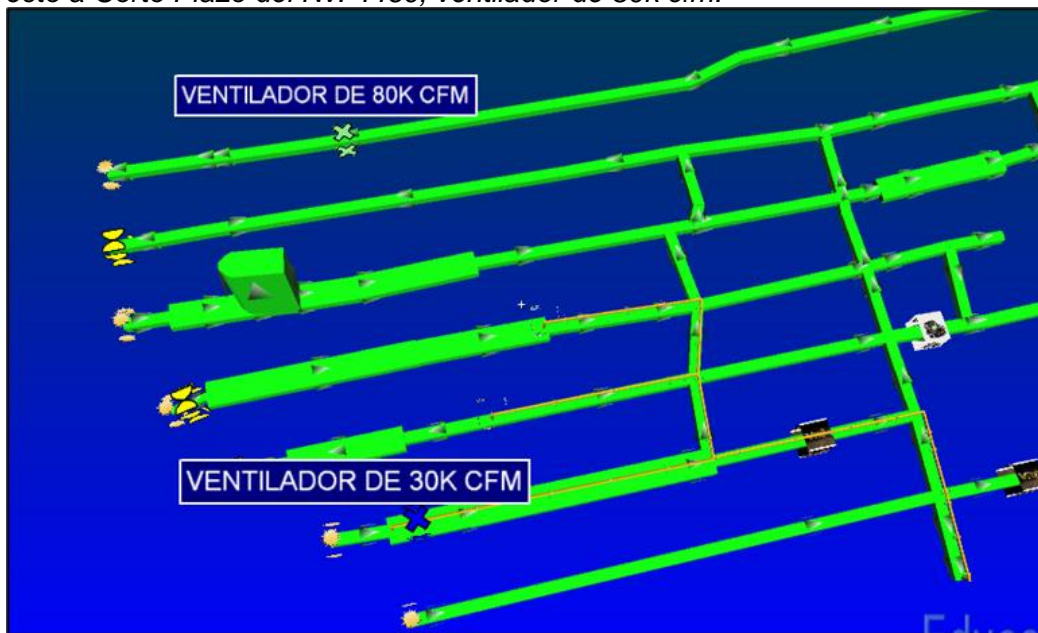
Se han planteado 4 proyectos para la mina Cruz de Oro, el cual permitirá mejorar el sistema de ventilación a corto plazo y a mediano plazo se centra en la Zona Carmen (profundización de las zonas de producción y polvorín auxiliar en interior mina) y Ore Sorting.

4.3.1 Proyectos de ventilación a corto plazo (6 meses)

4.3.1.1 **Proyectos a corto plazo en el Nivel 4460.** Se realizará hermetización con malla y shotcrete en las galerías: GL 14, GL 16 y GL 17. Con la finalidad de que el ventilador extractor de 80k cfm que se colocará en la GL 13, con el objetivo de obtener velocidades mayores a 25m/min en las labores de desarrollo y tránsito.

Figura 31

Proyecto a Corto Plazo del Nv. 4460, ventilador de 80k cfm.



Nota: Elaboración propia

4.3.1.2 **Proyectos a corto plazo en el Nivel 4475.** En el Nv. 4475 se instalará un ventilador secundario de 80k cfm en la Galería 13E, con el objetivo de evacuar el aire viciado de las galerías: GL 14 y GL 15, mismo que definirá un circuito principal con ingreso de la RP 500, donde actualmente la dirección del flujo varía constantemente.

Figura 32

Proyecto a corto plazo, NV 4475, ventilador de 80k cfm



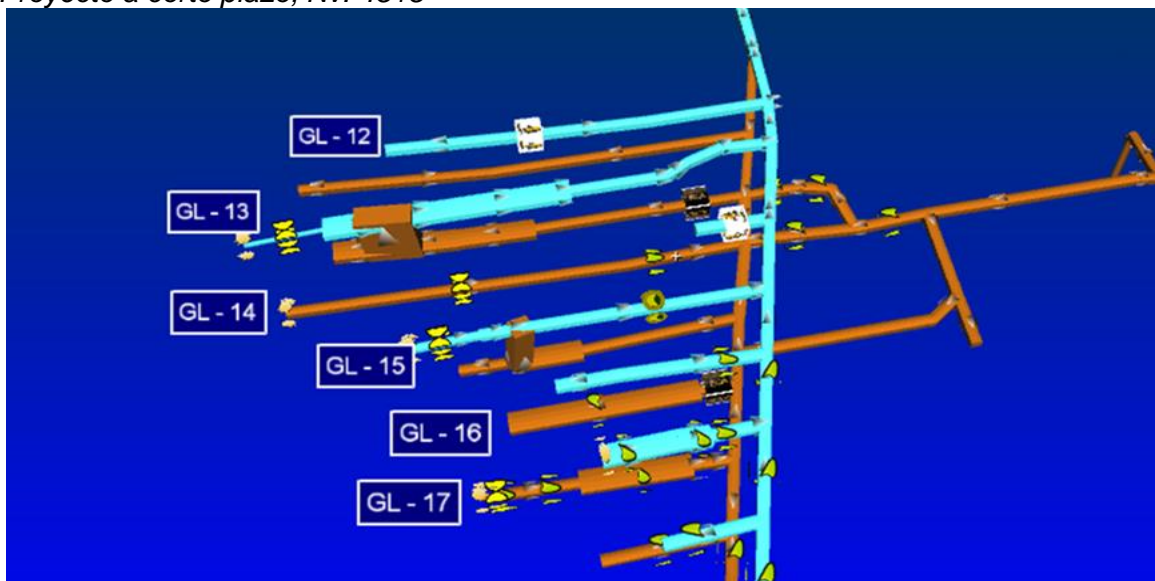
Nota: Elaboración propia

4.3.1.3 Proyectos a corto plazo en el Nivel 4515 y Nivel 4530. Se planifica realizar hermetización con malla y shotcrete las siguientes galerías: GL 13, GL 15 del Nivel 4515, así como también en las galerías: GL 13 y GL 15 del Nivel 4530. Dando como el siguiente circuito que se muestra en la Imagen. El aire viciado se dirigirá por el CX 532, Luego a la RP 533, que será expulsado por un ventilador extractor de 60k cfm.

En la GL 06 se colocará una compuerta, con la finalidad de que en la GL 14 no retorne el flujo viciado.

Figura 33

Proyecto a corto plazo, Nv. 4515



Nota: Elaboración propia

Figura 34

Proyecto de implementación de puerta en GL 6E



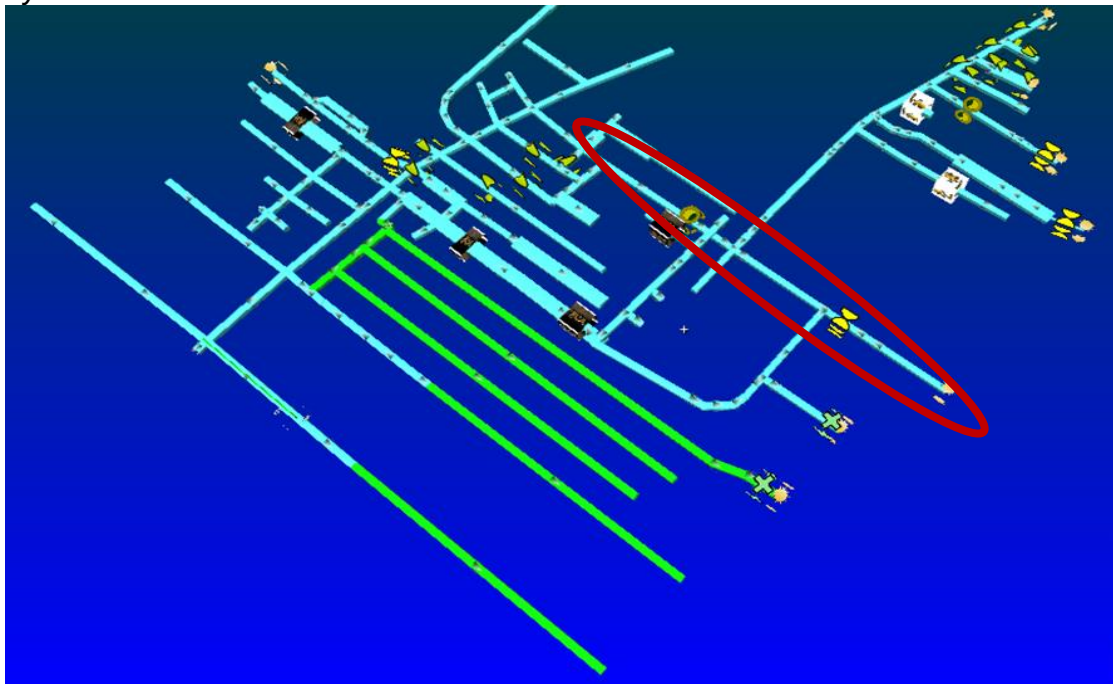
Nota: Elaboración propia

4.3.1.4 Proyectos a corto plazo en el Nivel 4530.

En el Nv. 4530 se tiene proyectado realizar la GL 41E el cual se plantea usarlo como un circuito de aire viciado, colocando un ventilador de 80k cfm, el cual cubrirá toda la zona, con ingreso de aire de la Rp 530. A velocidades superiores de 25 m/min.

Figura 35

Proyecto GL 14E con salida de aire viciado



Nota: Elaboración propia

4.3.1.5 Capex de proyectos a corto plazo. En la siguiente tabla 5.23., se presenta el cálculo de CAPEX de los proyectos planteado a Corto Plazo siendo un 5% el costo total de hermetización y tapones de un ventilador y 95% en el costo total de ventiladores.

Tabla 33

Capex de proyectos a corto plazo

CAPEX A CORTO PLAZO							
Item	Descripción	Labor	Zona	Diámetro (m) Sección (m)	Cant.	P.U. US\$	Costo US\$
1	Hermetizar tapones	GL 13E, GL 15E	Nv. 4530	5X5	2	480	960
2	Tapones de ventilador	GL 41E, GL 6E, GL 3E.		Orificio 1.16 m2	2	1,000	2,000
3	Desinstalar tapón	GL 2W		5X5	1	1,000	1,000
SubTotal							3,960
Item	Descripción	Labor	Zona	Diámetro (m) Sección (m)	Cant.	P.U. US\$	Costo US\$
1	Hermetizar tapones	GL 14E , GAL 14E POR REFUGIO 4	Nv. 4515	5X5	2	480	960
2	Tapones de ventilador	CM 531		Orificio 1.16 m2	1	1,000	1,000
3	Desinstalar tapón	-		5X5	0	1,000	0
SubTotal							1,960
Item	Descripción	Nivel	Zona	Diámetro (m) Sección (m)	Cant.	P.U. US\$	Costo US\$
1	Hermetizar tapones	RP 09W con CM 12, GL 13E con IN M	Nv. 4475	5X5	2	480	960
2	Tapones de ventilador	GL 13E, GL 02E		Orificio 1.16 m2	2	1,000	2,000
3	Desinstalar tapón	-		5X5	0	1,000	0
SubTotal							2,960

Item	Descripción	Nivel	Zona	Diámetro (m) Sección (m)	Cant.	P.U. US\$	Costo US\$	
1	Hermetizar tapones	GL 14E, GL 16E, GL 17E, GL 12 con IN E, GL 7E con RP 501	Nv. 4460	5X5	5	480	2,400	
2	Tapones de ventilador	GL 13E		Orificio 1.16 m2	1	1,000	1,000	
3	Desinstalar tapón	-		5X5	0	1,000	0	
SubTotal							3,400	
COSTO TOTAL DE HERMETIZACIÓN Y TAPONES DE VENTILADOR							12,280	5%

Ventiladores								
1	Compra de ventilador de 80 kcfm			- 2	96,000		192,000	
2	Base concreto para ventilador 80 kcfm	4460 y 4530		- 2	5,000		10,000	
3	Instalación del ventilador 80 kcfm			- 2	3,500		7,000	
4	Puerta Metálica Automática	GI 6E - 4515		- 1	15,000		15,000	
SubTotal							224,000.0	95%
Total							236,280	100%

(*) Observación: Los costos incluyen perforación, voladura, sostenimiento, limpieza.

Nota: Para la instalación de la puerta automática la energización mina debe tenerlo en el punto.

4.3.2 Simulación del nuevo sistema de ventilación mediante Ventsim

El nuevo sistema de ventilación está diseñado para el adecuado direccionamiento del flujo de aire en las labores del circuito principal, secundario y auxiliar; para los proyectos a mediano plazo en la Zona Carmen (se contempla 1 polvorín auxiliar en interior mina y seguir profundizando las zonas de producción) y la Zona Ore sorting.

4.3.2.1 Capacidad de cobertura. En el resumen de caudal de ingreso de aire se obtiene 433,814 cfm y caudal de salida de aire 447,185 cfm; siendo el caudal requerido para la zona Carmen y Ore Sorting.

Tabla 34*Aforo de ingreso de aire proyectado a mediano plazo.*

Est.	Fecha	Ubicación			Sección	Área	Vel.			Caudal		(%)
		Nivel	Labor	Detalle			Forma	(m ²)	m/s	m/min	m ³ /min	
EVP-01	24/03/2020	4515	RP 500	RP 500	BAÚL	25.00	3.80	228	5,699.5	201,275	46%	
EVP-02	24/03/2020	4530	RP 530	Conecta Superficie	BAÚL	16.88	1.00	60	1,013.0	35,775	8%	
EVP-03	24/03/2020	4530	GL-01W	Conecta Superficie	BAÚL	15.01	1.30	78	1,170.6	41,340	10%	
EVP-04	24/03/2020	4530	GL-41W	Conecta Superficie	BAÚL	15.01	1.20	72	1,080.6	38,160	9%	
EVP-05	24/03/2020	4530	GL 06	Conecta Superficie	BAÚL	15.01	1.10	66	990.5	34,980	8%	
EVP-06	24/03/2020	4370	CX ESPERANZA	Conecta Superficie	BAÚL	16.88	1.20	72	1,215.6	42,930	10%	
EVP-07	24/03/2020	4370	CX ESPERANZA	Conecta Superficie	BAÚL	16.88	1.10	66	1,114.3	39,353	9%	
		Total (Qi)							12,284	433,814	100%	

Nota: Elaboración propia

Tabla 35*Aforo de salida de aire a mediano plazo*

Est.	Fecha	Ubicación			Sección	Área (m ²)	Vel.		Caudal Campo		Caudal Campo (%)
		Nivel	Labor	Detalle			m/s	m/min	m ³ /min	cfm	
EVP-01	24/03/2020	4530	RB 03	Conecta Superficie	CIRCULAR	7.55	9.40	564	4,257	150,331	33.6%
EVP-02	24/03/2020	4520	BM CORI	Conecta Superficie	BAÚL	15.01	5.10	306	4,592	162,181	36.3%
EVP-03	24/03/2020	4475	GL 02	Conecta Superficie	BAÚL	7.50	4.20	252	1,891	66,780	14.9%
EVP-04	24/03/2020	4530	GL-03E	Ventilador de 60k cfm	BAÚL	16.02	2.00	120	1,923	67,893	15.2%
Total (Qs)									12,663	447,185	100%

Nota: Elaboración propia

4.3.3 Proyectos de ventilación a mediano plazo (3 años)

Los proyectos a mediano plazo se trabajan en la ventilación de la zona Carmen y la Zona Ore sorting; los precios de RB considerados para el análisis del diámetro óptimo son las siguientes:

Tabla 36

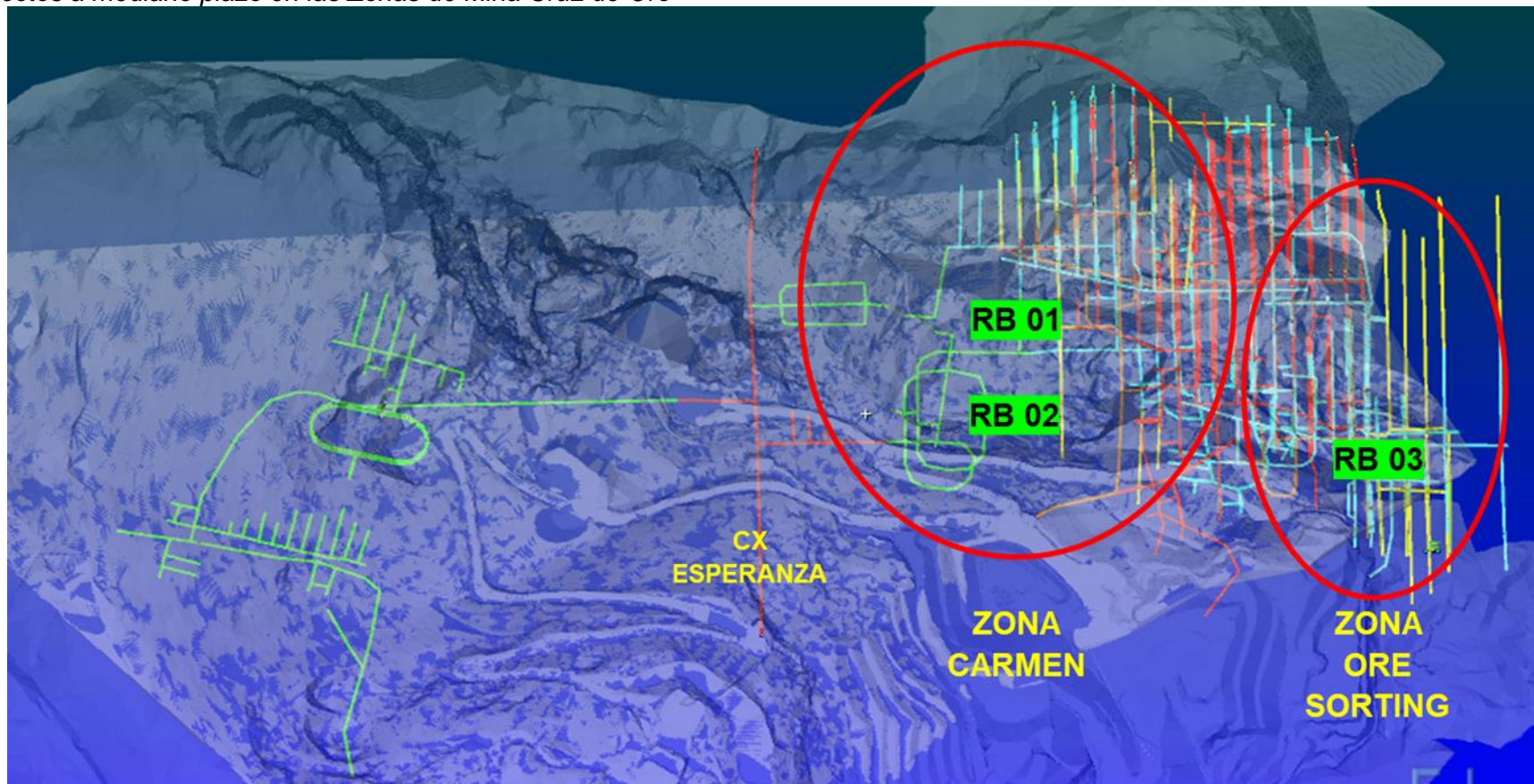
Costo de lineal de RB's.

RB (Ø)	m3	P.U. US\$/m	P.U. US\$/m3
1.5	1.8	883	500
1.8	2.5	1,053	414
2.1	3.5	1,288	372
2.4	4.5	1,413	312
2.8	6.2	1,450	235
3.1	7.5	1,478	196
3.8	11.3	1,653	146
4.0	12.6	1,880	150

Nota: Elaboración propia

Figura 36

Proyectos a mediano plazo en las Zonas de Mina Cruz de Oro



Nota: Elaboración propia

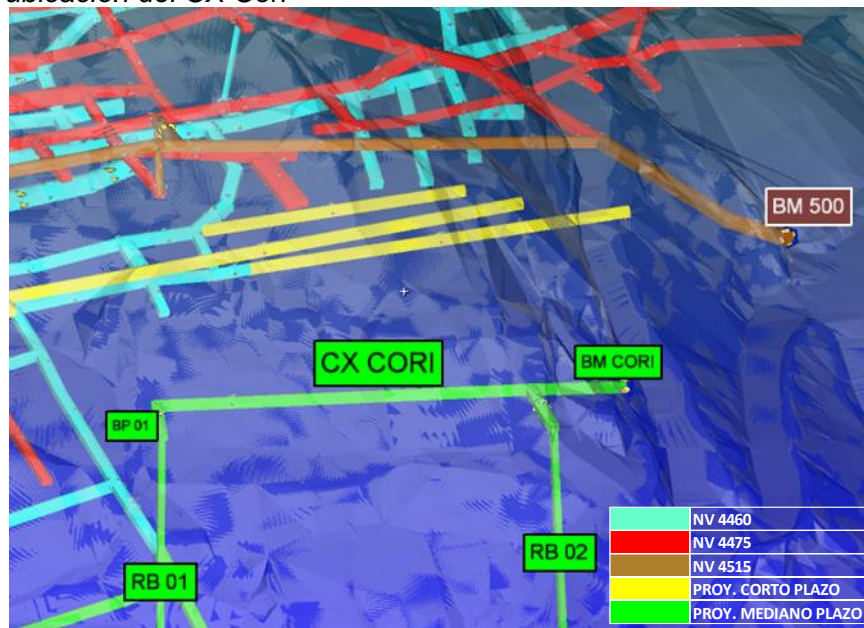
4.3.3.1 Zona Carmen. Para la correcta ventilación de la RP Carmen y los tajos que se planea explotar en esta zona se diseña un sistema de ventilación con RB 01 que ayudará del Nv 4440 hasta el NV 4360 donde se encuentra el CX Esperanza, así mismo tiene la capacidad de seguir acompañando hacia los niveles inferiores.

RB 01

Para la ejecución del RB 01 se debe primero ejecutar el CX CORI que tiene una longitud de 92m, a una sección de 4.0 m x 4.0 m, empezando en las coordenadas: E 458,705; N 8,390,610; Z 4,520 msnm y terminando en las coordenadas: E 458,748; N 8,390,551; Z 4,520 msnm.

Figura 37

Vista de la ubicación del CX Cori

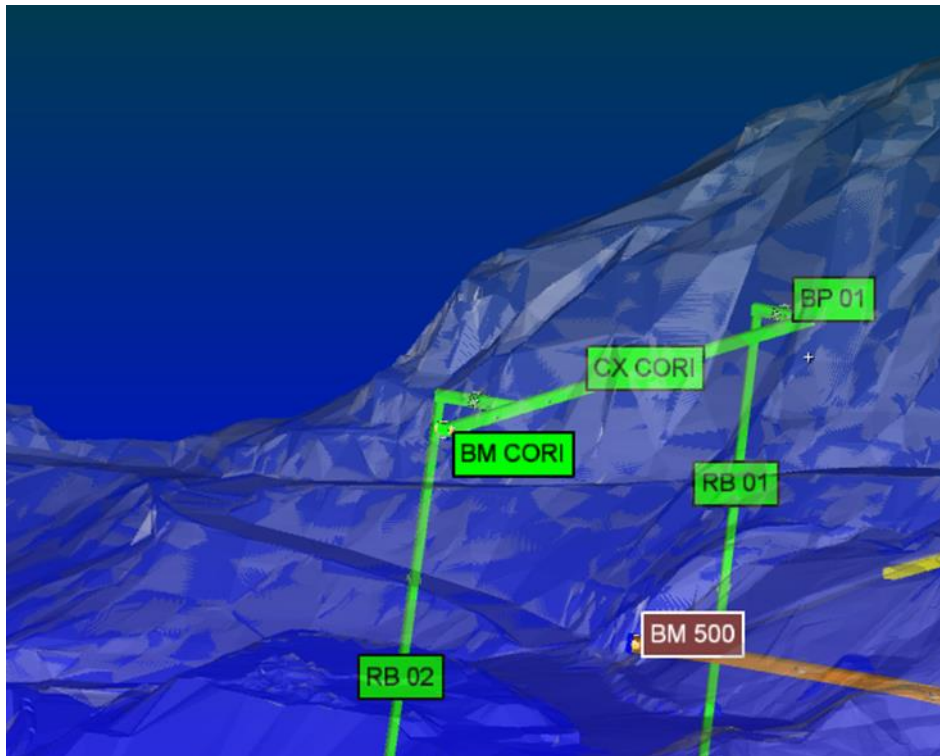


Nota: Elaboración propia

La BM CORI, en superficie Nv. 4520 que se va encontrar a 100m de la BM 500 y BM 530.

Figura 38

Ubicación de la BM CORI



Nota: Elaboración propia

El RB 01 iniciará una vez se culmine el CX CORI, este RB tendrá una las siguientes características:

Tabla 37

Descripción del proyecto RB 01.

RB 01	
Zona	Carmen
Nivel superior	4520
Nivel inferior	4360
Long. (m)	160
Ang. (°)	85°
Diam. (m)	3.1
Volumen (m3)	1208
Costo (\$)	236,416
Objetivo	Ventilación

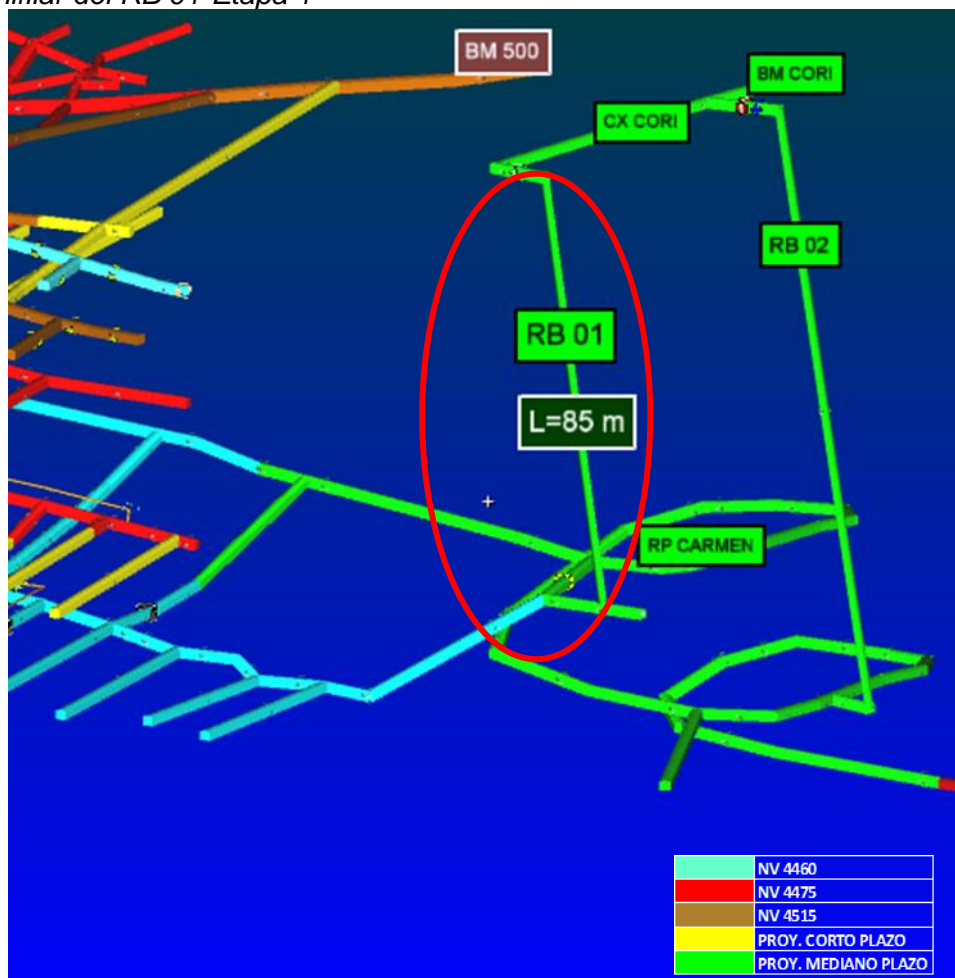
Nota: Elaboración propia.

Tendrá la función de extraer el aire viciado de los niveles inferiores: Nv 4515, Nv 4475 y Nv 4460.

Al RB 01 se ejecutará en 2 etapas, la etapa 1 tendrá como cabeza en E 458,759; N 8,390,557; Z 4520 y pie en E 458,773; N 8,390,563; Z 4440. Donde el diámetro óptimo es de 3.1m.

Figura 39

Vista unifilar del RB 01-Etapa 1



Nota: Elaboración propia

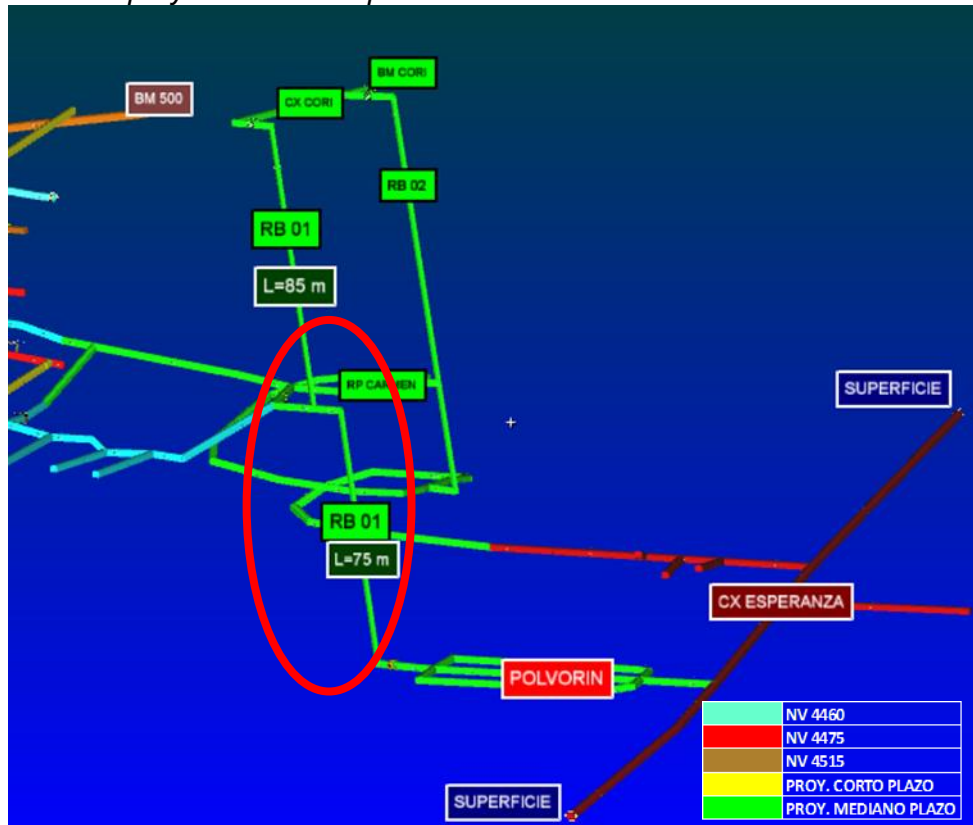
La etapa 2 del RB 01 tendrá cabeza en E 458,779; N 8,390,568; Z 4,438 y pie en E 4,438; N 8,390,576; Z 4,363; tiene la finalidad de ventilar los tajos que se desarrollen en los niveles inferiores al Nv 4460, así mismo la extracción de aire del polvorín, dado que en el artículo 281 del D.S. 024 -2016 - EM y modificatoria D.S. 023 – 2017 - EM especifica en los siguientes sub títulos Ventilación y Vías de escape:

Ventilación: estará dotado de ventilación natural. De no ser así, ventilación forzada.

Vías de escape: contar con una vía libre, como mínimo, para el escape de los gases a la superficie.

Figura 40

Vista unifilar del proyecto RB 0-Etapa 2

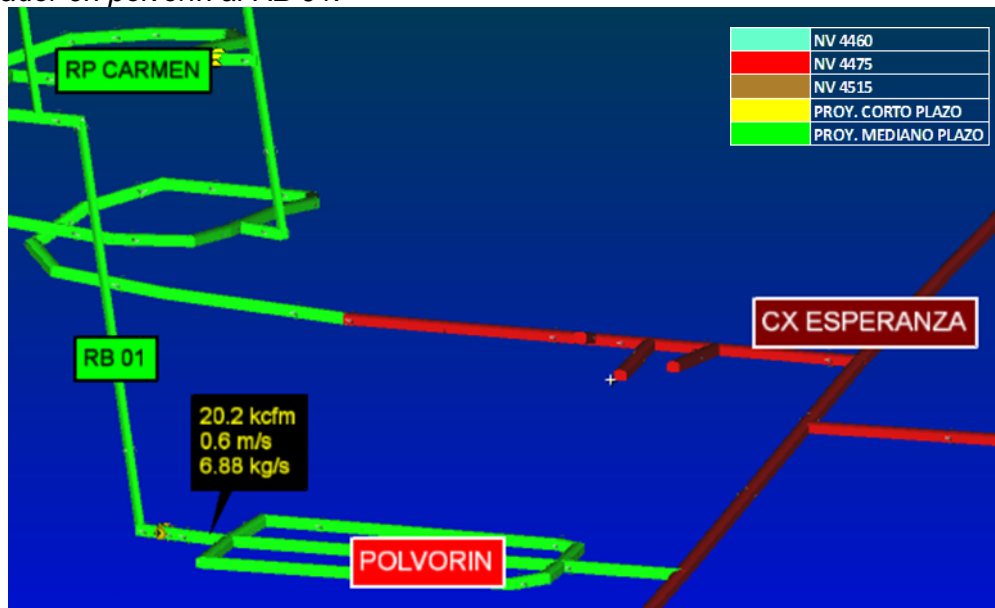


Nota: Elaboración propia

La ventilación del polvorín será de con el RB 01, se pondrá una puerta metálica con un regulador de 2m x 2m, esta compuerta se regulará para que pase un caudal de 20k cfm constantemente.

Figura 41

Regulador en polvorín al RB 01.



Nota: Elaboración propia

El ventilador que se instalará en la cabeza del RB 1 será de 80k cfm, dado que en el Nv. 4460 se tiene 1 zonas de trabajo donde actualmente el requerimiento es de 56,162 cfm; Que también extraerá 20k cfm del polvorín, sumando un total de 76,162k cfm; así como también de acuerdo a las coordinaciones con el área de ventilación de la Mina Cruz de Oro – Cori Puno, en el Nv. 4475 se avanzará hasta el tajo 24, con este avance también se podrá conectar el Nv. 4475 al RB 01 para su respectiva ventilación.

Tabla 38

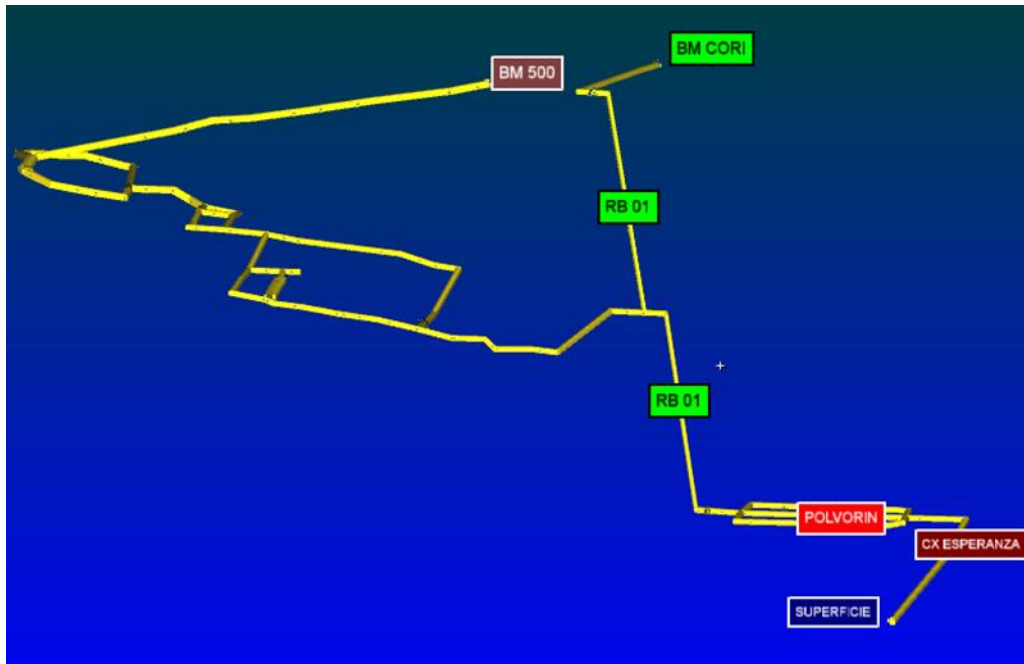
Requerimiento de aire en la zona 3 del Nv 4460.

Item	Descripción	Equipo	Cant	Pot.	Pot.	Dm	Fu(%)	m3/min	cfm
				Nominal	Efectiva				
1	Personal	Operador	4.00	-	-	-	-	240.00	848.00
2	Equipo	Scoptram 6 yd3	2.00	280.00	215.60	0.92	0.86	1020.10	36024.00
3	Equipo	Volquete	1.00	440.00	338.80	0.70	0.48	338.80	11965.00
Sub total - Q por fugas				-	-	-	-	207.40	7325.00
Total				720.0	554.4			1806.30	56162.00

Nota: Elaboración propia

Figura 42

Circuito de ventilación del RB 01.



Nota: Elaboración propia

RB 02

El RB-02 tiene la finalidad de ventilar la RP Carmen en toda su profundización hasta conectar con el CX esperanza, cumpliendo con las siguientes características:

Tabla 39

Descripción del proyecto RB 02.

RB 02	
Zona	Carmen
Nivel superior	4520
Nivel inferior	4400
Long. (m)	120
Ang. (°)	85°
Diam. (m)	3.1
Volumen (m3)	906
Costo (\$)	177,312
Objetivo	Ventilación

Nota: Elaboración propia

El RB 02 tendrá cabeza en: E 458,716; N 8,390,629; Z 4440 y con pie en: E 458,731; N 8,390,633; Z 4400

Figura 43

Vista unifilar del proyecto RB 02.



Nota: Elaboración propia

El requerimiento de caudal de aire para la RP Carmen se calcula de la siguiente manera:

Tabla 40

Requerimiento de aire en la RP Carmen

Item	Descripción	Equipo	Cant	Pot. Nominal	Pot. Efectiva	Dm (%)	Fu(%)	m3/min	cfm
1	Personal	Operador	4.00	-	-	-	-	24.0	848.0
2	Equipo	Scoptram 6 yd3	1.00	280.00	215.60	0.91	0.86	506.0	17,876.0
3	Equipo	Volquete	1.00	440.00	338.80	0.70	0.86	612.0	21,608.0
Sub total - Q por fugas				-	-	-	-	171.0	6,050.0
TOTAL				720.0	554.4			1,313.0	46,382.0

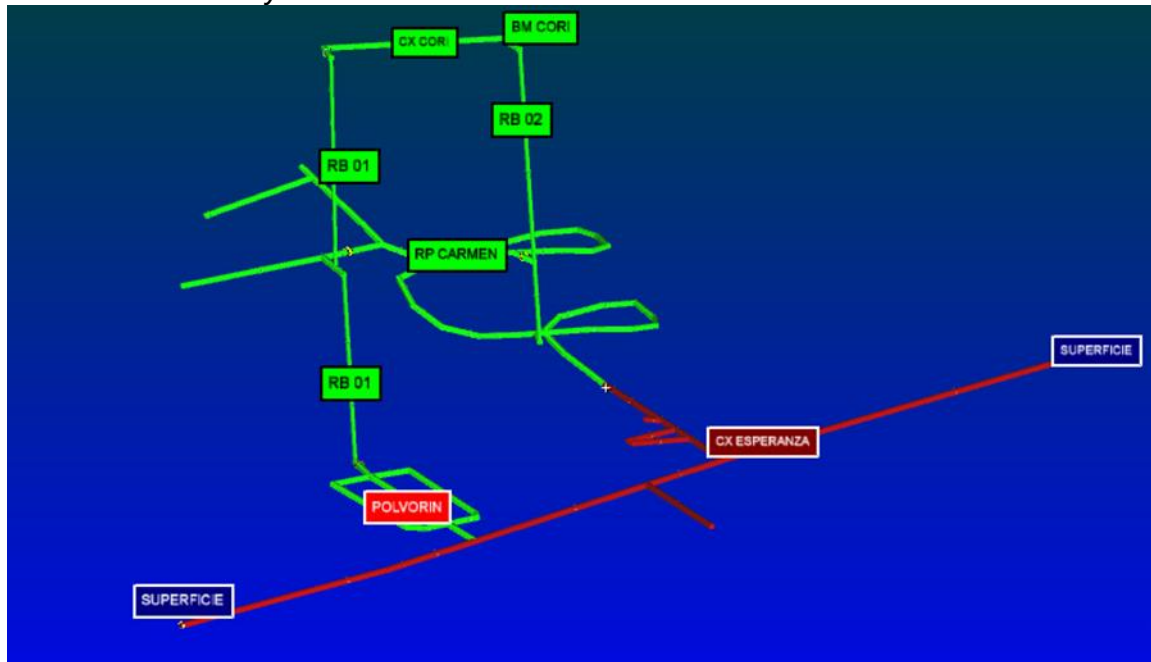
Nota: Elaboración propia

De tal manera se plantea instalar en la cabeza del RB 02 un ventilador de 80k cfm.

En la siguiente imagen se detalla los proyectos planteados RB 1 y RB 2 como extractores, así mismo los puntos de conexión con la Rp Carmen y Cx Esperanza.

Figura 44

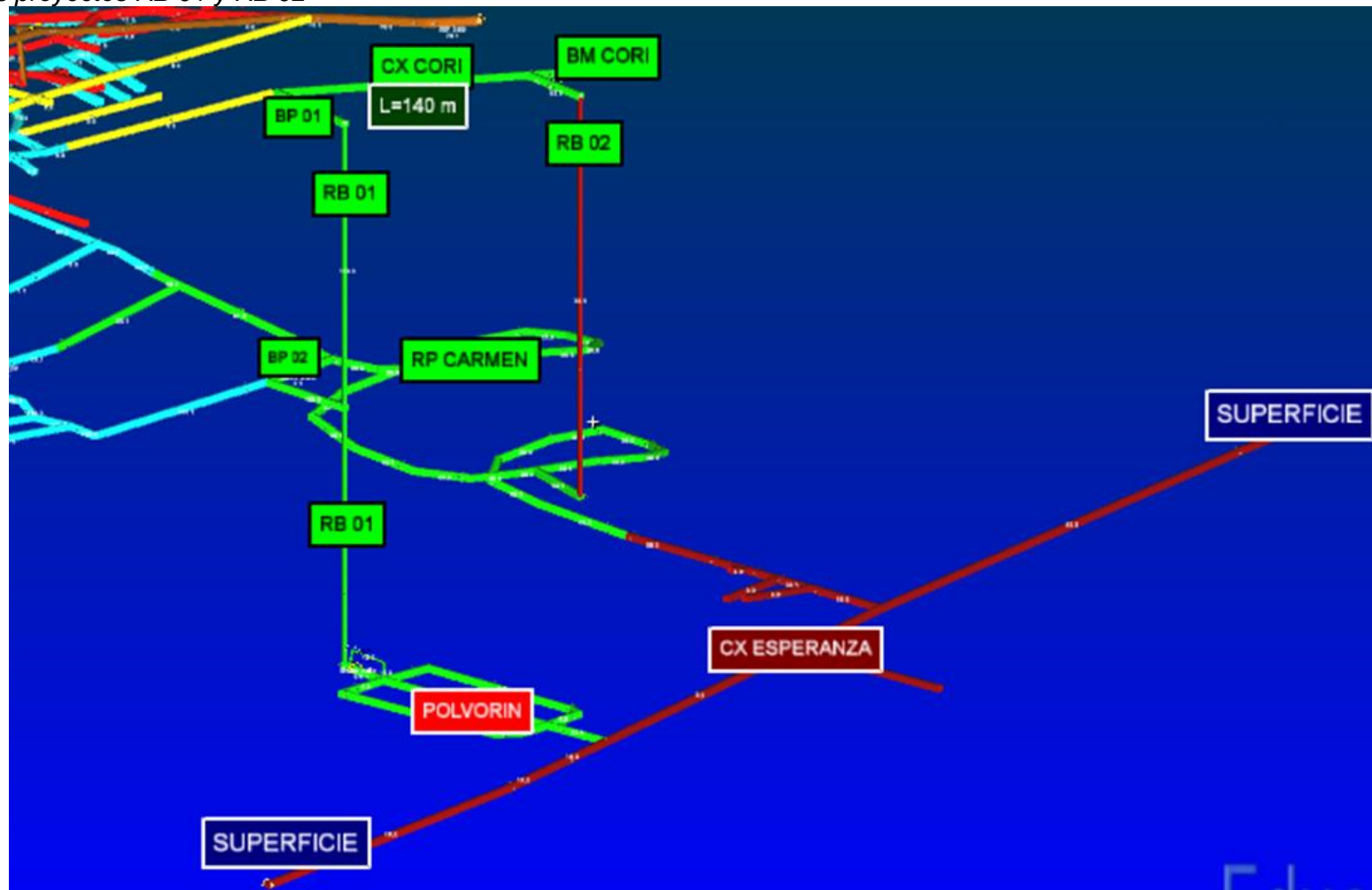
Ubicación de RB 01 y RB 02



Nota: Elaboración propia

Figura 45

Vista de los proyectos RB 01 y RB 02



Nota: Elaboración propia

4.3.3.2 Zona ore sorting. Para la correcta ventilación de la planta ore sorting en el Nv 4460 y Nv 4530 se plantea un proyecto denominado RB 03 con la finalidad de brindar un circuito de ventilación principal debido a la importancia que implica ventilar la zona donde este la planta.

RB 03

El Rb 03 tendrá cabeza en la GL 42 del Nv 4530 en las siguientes coordenadas: E 458,374; N 8,390,428; Z 4,559 y con pie en la GL 42 Nv 4460 con coordenadas: E 458,374; N 8,390,428; Z 4,483, cumpliendo las siguientes características:

Tabla 41

Descripción del proyecto RB 03

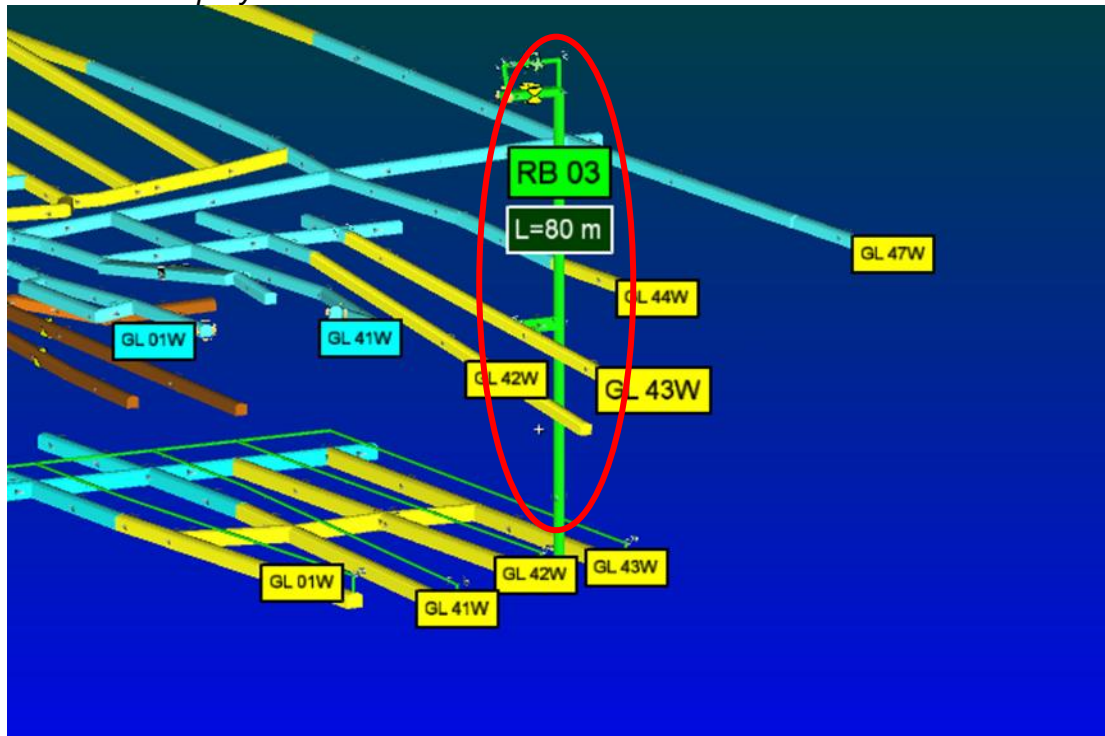
RB 03	
Zona	Ore sorting
Nivel superior	4560
Nivel inferior	4480
Long. (m)	80
Ang. (°)	90°
Diam. (m)	3.1
Volumen (m3)	604
Costo (\$)	118,208
Objetivo	Ventilación

Nota: Elaboración propia

En la cabeza del RB 03 se instalará un ventilador de 150k cfm; actualmente tenemos una necesidad de 42,890 cfm en la zona 01 del Nv 4530 y 21,201 cfm en la zona 01 del Nv 4460. Siendo un total requerido de 64,091 cfm, para las plantas se prevé proporcionar un caudal de 80k cfm para cada planta ubicados en el Nv 4460 (40k cfm) y 4530 (40k cfm), con la finalidad de eliminar el polvo suspendido que producirán las plantas, con este sistema de ventilación cumpliremos con la velocidad mínima requerida 25 m/min en las labores de tránsito. Así como también se requiere de una ingeniería para el control de polvos que se emitirá a la atmosfera.

Figura 46

Vista Unifilar del proyecto RB 03



Nota: Elaboración propia

Tabla 42

Requerimiento de caudal de aire en el Nv 4660 zona 1.

Item	Descripción	Equipo	Cant	Pot. Nominal	Pot. Efectiva	Dm (%)	Fu(%)	m3/min	cfm
1	Personal	Operador	2.00	-	-	-	-	12.0	423.8
2	Equipo	Scoptram 6 yd3	1.00	280.00	215.60	0.91	0.86	510.0	18,012.2
Sub total - Q por fugas				-	-	-	-	171.0	2,765.4
TOTAL				280.0	215.6			693.0	21,201.4

Nota: Elaboración propia

Tabla 43

Requerimiento de caudal de aire en el Nv 4530 zona 1.

Item	Descripción	Equipo	Cant	Pot. Nominal	Pot. Efectiva	Dm (%)	Fu(%)	m3/min	cfm
1	Personal	Operador	6.00	-	-	-	-	36.0	1,271.0
2	Equipo	Scoptram 6 yd3	1.00	280.00	215.60	0.91	0.86	510.0	18,012.0
3	Equipo	Scoptram 6 yd3	1.00	280.00	215.60	0.91	0.86	510.0	18,012.0
Sub total - Q por fugas				-	-	-	-	158.4	5,594.0
TOTAL				560.0	431.2			1,214.4	42,889.0

Nota: Elaboración propia

4.3.4 Selección de diámetro óptimo- Método algebraico

Para realizar el cálculo del diámetro óptimo, de una chimenea de Ventilación, se debe definir, primero el caudal que vamos a mover (extraer), y la longitud de la labor en proyecto, así de esta manera, se usará la ecuación de la caída de presión por fricción para hallar la resistencia (Nota: Malcolm J. McPherson):

$$H_f = k_{1.2} * L * \frac{per}{A^3} * Q^2 * \frac{p}{1.2} \quad (\text{Pa}) \quad (28)$$

$$R = k_{1.2} * L * \frac{per}{A^3} * \frac{p}{1.2} \quad \left(\frac{Ns^2}{m^8} \right) \quad (29)$$

$$H_f = R * Q^2 \quad (\text{Pa}) \quad (30)$$

Donde:

- H_f = caída de presión (pa)
- $k_{1.2}$ = k de fricción dimensional $\left(\frac{kg}{m^3} \right)$
- L = Longitud (m)
- Per = Perímetro (m)
- A = Area (m²)
- p = Densidad $\left(\frac{kg}{m^3} \right)$
- Q = Caudal (m³/min)

Posteriormente hallaremos la potencia de freno dado por:

$$BHP = \frac{H_f \cdot Q}{1000 * \text{eff. vent.}} \quad (\text{kW}) \quad (31)$$

Donde:

- H_f = Caída de presión (Pa)
- Q = Caudal (m³/s)

Con estos datos obtenidos se evalúa el Costo de Capital, Costo de Operación y posteriormente el Costo Total con diferentes diámetros.

Costo de Capital:

$$C_c = C_{ex} * L, \text{ (US\$)} \quad (32)$$

Donde:

- C_{ex} = Costo de excavación (\$/m)
- L = Longitud de labor (m)

Costo de Operación:

$$C_o = BHP_{anual} * CO \text{ unit por año, (US\$)} \quad (33)$$

Donde:

- BHP = Potencia freno del ventilador
- $Co \text{ unit}$ = Costo de operación unitario (US\$/kw-h)

Costo Total:

$$CT = C_o + C_c, \text{ (US\$)} \quad (34)$$

Donde:

- C_o = Costo de operación, (US\$)
- C_c = Costo de capital, (US\$)

4.3.5 Selección de diámetro óptimo - Proyectos de ventilación a mediano plazo

4.3.5.1 RB 01. La tabla 44, muestra el análisis y selección del diámetro del RB 01, llegando a ser recomendado un diámetro de 3.1m para una longitud de 160m y una extracción de 80k cfm. Mismo que tendrá la capacidad de extraer mayor volumen de caudal de aire en caso se requiera mientras se profundice la mina y/o conecte en el nivel 4475. Manteniéndose un costo operativo bajo respecto a los demás diámetros, así como se muestra en la tabla 44.

Tabla 44

Diámetro recomendado para extraer aire 80k cfm

Sección	Área	Perímetro	Longitud	Resistencia	Caudal fijo	Costo	Costo	Caída	Potencia	Costo	Costo Total
Ø	(A)	(C)	(L)	(R)	(Q)	Excavación	Capital (CC)	Presión (Hf)	Freno (BHP)	Operativo	anual (CT)
(m)	(m ²)	(m)	(m)	(PU)	(cfm)	\$/m	US\$	(" C.A.)	(kW)	(CO) US\$	US\$
1.50	1.77	4.71	160.00	0.3680	80,000	883	141,256	2.35	27.69	24,256	165,512
1.80	2.54	5.65	160.00	0.1479	80,000	1,053	168,416	0.95	11.13	9,748	178,164
2.10	3.46	6.60	160.00	0.0684	80,000	1,288	206,080	0.44	5.15	4,510	210,590
2.40	4.52	7.54	160.00	0.0351	80,000	1,413	226,016	0.22	2.64	2,313	228,329
2.80	6.16	8.80	160.00	0.0162	80,000	1,450	232,000	0.10	1.22	1,070	233,070
3.10	7.55	9.74	160.00	0.0098	80,000	1,478	236,416	0.06	0.73	643	237,059
3.80	11.34	11.94	160.00	0.0035	80,000	1,653	264,416	0.02	0.27	232	264,648
4.00	12.57	12.57	160.00	0.0027	80,000	1,880	300,800	0.02	0.21	180	300,980

Nota: Elaboración propia

Tabla 45

Escenario del costo operativo para extracción de caudal de 150k cfm

Sección	Área	Perímetro	Longitud	Resistencia	Caudal fijo	Costo	Costo	Caída	Potencia	Costo	Costo Total
Ø	(A)	(C)	(L)	(R)	(Q)	Excavación	Capital (CC)	Presión (Hf)	Freno (BHP)	Operativo	anual (CT)
(m)	(m2)	(m)	(m)	(PU)	(cfm)	\$/m	US\$	(" C.A.)	(kW)	(CO) US\$	US\$
1.50	1.77	4.71	160.00	0.3680	150,000	883	141,256	8.27	182.53	159,892	301,148
1.80	2.54	5.65	160.00	0.1479	150,000	1,053	168,416	3.32	73.35	64,257	232,673
2.10	3.46	6.60	160.00	0.0684	150,000	1,288	206,080	1.54	33.94	29,729	235,809
2.40	4.52	7.54	160.00	0.0351	150,000	1,413	226,016	0.79	17.41	15,249	241,264
2.80	6.16	8.80	160.00	0.0162	150,000	1,450	232,000	0.36	8.05	7,055	239,055
3.10	7.55	9.74	160.00	0.0098	150000	1,478	236,416	0.22	4.84	4,241	240,657
3.80	11.34	11.94	160.00	0.0035	150,000	1,653	264,416	0.08	1.75	1,532	265,948
4.00	12.57	12.57	160.00	0.0027	150,000	1,880	300,800	0.06	1.35	1,186	301,986

Nota: Elaboración propia

4.3.5.2 RB 02. La tabla 46, muestra el análisis y selección del diámetro del RB 02, llegando a ser recomendado un diámetro de 3.1m para una longitud de 120m y una extracción de 80k cfm. Mismo que tendrá la capacidad de extraer mayor volumen de caudal de aire en caso se requiera. Manteniendo un costo operativo bajo a largo plazo.

Tabla 46

Diámetro recomendado para extracción de caudal de 80k cfm

Sección	Área	Perímetro	Longitud	Resistencia	Caudal fijo	Costo	Costo	Caída	Potencia	Costo	Costo Total
Ø	(A)	(C)	(L)	(R)	(Q)	Excavación	Capital (CC)	Presión (Hf)	Freno (BHP)	Operativo	anual (CT)
(m)	(m2)	(m)	(m)	(PU)	(cfm)	\$/m	US\$	(" C.A.)	(kW)	(CO) US\$	US\$
1.50	1.77	4.71	120.00	0.2760	80,000	883	105,942	1.76	20.77	18,192	124,134
1.80	2.54	5.65	120.00	0.1109	80,000	1,053	126,312	0.71	8.35	7,311	133,623
2.10	3.46	6.60	120.00	0.0513	80,000	1,288	154,560	0.33	3.86	3,383	157,943
2.40	4.52	7.54	120.00	0.0263	80,000	1,413	169,512	0.17	1.98	1,735	171,247
2.80	6.16	8.80	120.00	0.0122	80,000	1,450	174,000	0.08	0.92	803	174,803
3.10	7.55	9.74	120.00	0.0073	80000	1,478	177,312	0.05	0.55	483	177,794
3.80	11.34	11.94	120.00	0.0026	80,000	1,653	198,312	0.02	0.20	174	198,486
4.00	12.57	12.57	120.00	0.0020	80,000	1,880	225,600	0.01	0.15	135	225,735

Nota: Elaboración propia

4.3.5.3 RB 03. La tabla 47, muestra el análisis y selección del diámetro del RB 03, llegando a ser el diámetro óptimo y recomendado un diámetro de 3.1m para una longitud de 80m y una extracción de 150k cfm. Mismo que tendrá la capacidad de extraer mayor volumen de caudal de aire en caso se requiera. Manteniendo un costo operativo bajo a largo plazo. Así como se muestra en la tabla 48, con un escenario de extracción de 200k cfm.

Tabla 47*Diámetro recomendado para extracción de caudal de 150k cfm.*

Sección	Área	Perímetro	Longitud	Resistencia	Caudal fijo	Costo	Costo	Caída	Potencia	Costo	Costo Total
∅	(A)	(C)	(L)	(R)	(Q)	Excavación	Capital (CC)	Presión (Hf)	Freno (BHP)	Operativo	anual (CT)
(m)	(m ²)	(m)	(m)	(PU)	(cfm)	\$/m	US\$	(" C.A.)	(kW)	(CO) US\$	US\$
1.50	1.77	4.71	80.00	0.2760	150,000	883	70,628	4.14	91.26	79,946	150,574
1.80	2.54	5.65	80.00	0.1109	150,000	1,053	84,208	1.66	36.68	32,129	116,336
2.10	3.46	6.60	80.00	0.0513	150,000	1,288	103,040	0.77	16.97	14,865	117,905
2.40	4.52	7.54	80.00	0.0263	150,000	1,413	113,008	0.39	8.7	7,624	120,632
2.80	6.16	8.80	80.00	0.0122	150,000	1,450	116,000	0.18	4.03	3,527	119,527
3.10	7.55	9.74	80.00	0.0055	150,000	1,478	118,208	0.11	2.42	2,121	120,328
3.80	11.34	11.94	80.00	0.0026	150,000	1,653	132,208	0.04	0.87	766	132,974
4.00	12.57	12.57	80.00	0.0020	150,000	1,880	150,400	0.03	0.68	593	150,993

Nota: Elaboración propia

Tabla 48

Escenario costo operativo y total para extracción caudal de 200k cfm

Sección	Área	Perímetro	Longitud	Resistencia	Caudal fijo	Costo	Costo	Caída	Potencia	Costo	Costo Total
Ø	(A)	(C)	(L)	(R)	(Q)	Excavación	Capital (CC)	Presión (Hf)	Freno (BHP)	Operativo	anual (CT)
(m)	(m2)	(m)	(m)	(PU)	(cfm)	\$/m	US\$	(" C.A.)	(kW)	(CO) US\$	US\$
1.50	1.77	4.71	80.00	0.1840	200,000	883	70,628	7.35	216.33	189,502	260,130
1.80	2.54	5.65	80.00	0.0740	200,000	1,053	84,208	2.95	86.94	76,157	160,364
2.10	3.46	6.60	80.00	0.0342	200,000	1,288	103,040	1.37	40.22	35,235	138,275
2.40	4.52	7.54	80.00	0.0175	200,000	1,413	113,008	0.70	20.63	18,072	131,080
2.80	6.16	8.80	80.00	0.0081	200,000	1,450	116,000	0.32	9.54	8,361	124,361
3.10	7.55	9.74	80.00	0.0049	200,000	1,478	118,208	0.20	5.74	5,026	123,234
3.80	11.34	11.94	80.00	0.0018	200,000	1,653	132,208	0.07	2.07	1,816	134,024
4.00	12.57	12.57	80.00	0.0014	200,000	1,880	150,400	0.05	1.60	1,405	151,805

Nota: Elaboración propia

4.3.6 Cobertura de aire a mediano plazo

La cobertura global a mediano plazo con la ejecución de los proyectos a mediano plazo será de 217% como se muestra en la tabla 49, donde 80k cfm requerido por las plantas Ore Sorting y 20k cfm proyectado para polvorín suman 100k cfm, es recomendable que este caudal de aire no se considere dentro del balance y cobertura del caudal de aire de la mina, dado que tienen una zona específica a ventilarlo constantemente con ese caudal. Por lo cual se considera la tabla 50 la cobertura real de la mina Cruz de Oro siendo 167%.

Tabla 49

Cobertura global a mediano plazo, mina Cruz de Oro.

Balance total de aire		
Caudal de aire	m3/min	cfm
Total de aire requerido	5,664	200,026
Ingreso de aire	12,284	433,814
Salida de aire	12,663	447,185
Cobertura (%)		217%
Superavit (cfm)		233,788

Nota: Elaboración propia

Tabla 50

Cobertura global real, mina Cruz de Oro.

Balance total de aire		
Caudal de aire	m3/min	cfm
Total de aire requerido	5,664	200,026
Ingreso de aire	9,453	333,814
Salida de aire	9,831	347,185
Cobertura (%)		167%
Superavit (cfm)		133,788

Nota: Elaboración propia

4.3.7 Capex y Opex a mediano plazo

4.3.7.1 Flujo de inversión

Tabla 51

Flujo de inversión proyectado a mediano plazo

MEDIANO PLAZO 2020-2022											
Ítem	Descripción	Detalles	Cant.	Nivel	Zona	Tipo	Forma	Long.	Área (m2)	P.U. (US\$/um)	Total (US\$)
1.1	Plan de avances										
1.1.1	CX CORI		1	4520	CARMEN	Extracción	Baúl	93.0	15.0	401.00	37,293
1.1.2	CM 01		1	4520	CARMEN	Extracción	Baúl	16.0	15.0	401.00	6,416
1.1.3	CM 02		1	4520	CARMEN	Extracción	Baúl	12.0	15.0	401.00	4,812
1.1.4	RB 01 - Etapa 01		1	4520	CARMEN	Extracción	Circular	85.0	7.5	1,478.00	125,630
1.1.5	RB 01 - Etapa 02		1	4440	CARMEN	Extracción	Circular	75.0	7.5	1,478.00	110,850
1.1.6	BP 01		1	4440	CARMEN	Extracción	Baúl	60.0	15.0	401.00	24,060
1.1.7	CM 03		1	4440	CARMEN	Extracción	Baúl	22.0	15.0	401.00	8,822
1.1.8	CM 04		1	4430	CARMEN	Extracción	Baúl	14.0	15.0	401.00	5,614
1.1.9	CM 05		1	4400	CARMEN	Extracción	Baúl	10.0	15.0	401.00	4,010
1.1.10	CM 06		1	4480	CARMEN	Extracción	Baúl	8.0	15.0	401.00	3,208
1.1.11	RB 03		1	4560	ORE SORTING	Extracción	Circular	80.0	7.5	1,478.00	118,240
1.1.12	CM 07		1	4520	ORE SORTING	Extracción	Baúl	8.0	15.0	401.00	3,208
Sub Total US\$ INFRAESTRUCTURA DE VENTILACIÓN											452,163

1.2 Tapones/Orificio							
1.2.1	Tapon N° 01	GI 41E	1	4530	ORE SORTING	Baúl	480
1.2.2	Tapon N° 02	GI 17	1	4530	CARMEN	Baúl	460
1.2.3	Tapon N° 03	CAM 27	1	4515	CARMEN	Baúl	460
1.2.4	Tapon N° 04	GL 01	1	4475	CARMEN	Baúl	460
1.2.5	Tapon N° 05	GL 03	1	4475	CARMEN	Baúl	460
1.2.6	Tapon N° 06	GL 05	1	4475	CARMEN	Baúl	460
1.2.7	Tapon N° 07	GL 08	1	4475	CARMEN	Baúl	160
1.2.8	Orificio N° 01	GL 13	1	4475	CARMEN	Circular	160
1.2.9	Orificio N° 02	GL 13	1	4460	CARMEN	Circular	460
1.2.10	Tapon N° 08	GL 15	1	4460	CARMEN	Baúl	460
1.2.11	Tapon N° 09	GL 18	1	4460	CARMEN	Baúl	460
1.2.12	Tapon N° 10	GL 19	1	4460	CARMEN	Baúl	460
Sub Total US\$ COMPRA DE VENTILADORES							4,840
1.2 Ventiladores							
1.2.1	Fan 80,000 cfm	75HP, 11.4" (VAV-32- 21-3450- I-C AXIAL)	2				96,000 192,000
1.2.3	Fan 150,000 cfm	200HP, 8.5", 1 PZ (VAV-60- 1750-I-C AXIAL)	1				185,300.00 185,300
Sub Total US\$ COMPRA DE VENTILADORES							377,300
COSTO TOTAL MEDIANO PLAZO US\$							834,403

Nota: Elaboración propia

4.3.7.2 Costo de capital (Capex). Análisis del costo de capital para proyectos a mediano plazo.

Tabla 52

Costo de Capital a mediano plazo.

TRADE OFF - MEDIANO				
Item	Descripción	U/M	Actual	Cruz de Oro
			Febrero	Mediano Plazo 2020-2021
1	Producción de mineral	TM/año	396,000	396,000
2	Caudal de aire total de admisión	cfm	296,510	433,814
3	Caudal de aire total de escape	cfm	301,970	447,185
4	Caudal Requerido	cfm	173,826	200,026
5	Cobertura	%	171%	217%
6	Costo Capital por año	US\$	-	834,403
7	Costo Unitario Caudal	US\$/cfm	-	1.92
8	Costo Unitario CAPEX	US\$/TMS	-	2.11

Nota: Elaboración propia

4.3.7.3 Costo de operación (Opex). Análisis del costo de operación para proyectos a mediano plazo.

Tabla 53

Costo de Operación a mediano plazo

Item	Descripción	U/M	Incidencia Mano	Actual febrero	Cruz de Oro Mediano Plazo 2020-2021
1	Producción de mineral (Referencial)	TM/año		396,000	396,000
2	Total de ventiladores Principales	-		0	1
3	Total de ventiladores Secundarios	-		3	5
4	Total de ventiladores Auxiliares	-		5	5
5	Caudal de aire total de admisión	cfm		296,510	433,814
6	Caudal de aire total de escape	cfm		301,970	447,185
7	Potencia eléctrica de Entrada	kW		283	763
8	Consumo de Energía	US\$		244,233	442,953
9	Mano de obra - 10 personas (3%)	US\$	3%	7,327	13,289
10	Mantenimiento/Repuestos (10%)	US\$	10%	24,423	44,295
11	Costo Operación por año	US\$		275,983	500,537
12	Costo Unitario Caudal	US\$/cfm	28%	0.93	1.15
13	Costo Unitario OPEX	US\$/TMS	28%	0.70	1.26

Nota: Elaboración propia

4.3.7.4 Costo total de ventilación. El costo total de ventilación es 3.19 US\$/TMS.

Tabla 54

Costo total de ventilación a mediano plazo.

Item	Descripción	U/M	Cruz de Oro	
			Actual Dic-19	Mediano Plazo 2020-2021
1	Producción de mineral	TM/año	396,000	396,000
2	Costo de Capital - CAPEX	US\$/Año		834,403
3	Costo Unitario CAPEX	US\$/TMS		1.92
4	Costo de Capital - OPEX	US\$/Año	275,983	500,537
5	Costo Unitario OPEX	US\$/TMS	0.93	1.26
6	Total (CAPEX + OPEX)	US\$/Año	275,983	1,334,940
7	COSTO DE VENTILACIÓN	US\$/TMS	0.93	3.19

Nota: Elaboración propia

4.3.8 Consumo de energía proyectado

Calculando el consumo de energía de ventilación proyectada a mediano plazo podremos hacer la comparación con respecto al gasto de otras unidades mineras. El consumo de energía se calcula dividiendo el costo de energía por kilowatts entre el caudal de ingreso en cfm.

Tabla 55*Consumo de energía del ventilador principal para el RB 03.*

Ítem	Marca	Labor	Caudal Nominal cfm	Pot. Nom. HP	Pot. Real Kw	Costo Energía. US\$/Kw-Hr	Costo US\$/Hr	Costo Energía US\$/año	R.P. %	Distrib. Energía
Ventilador Principal										
1	AIRTEC	RB 03	150,000	350	230.00	0.1	23.00	198,720	88%	100%
Sub total			150,000	350	230.00			198,720		100%

Nota: Elaboración propia

Tabla 56*Consumo de energía de ventiladores secundarios*

Ítem	Marca	Labor	Caudal Nominal cfm	Pot. Nom. HP	Pot. Real Kw	Costo Energía. US\$/Kw-Hr	Costo US\$/Hr	Costo Energía US\$/año	R.P. %	Distrib. Energía
Ventilador secundario										
1	AIRTEC	RB 01	80,000	100	125.00	0.1	12.50	108,000	83%	54%
2	AIRTEC	RB 02	80,000	100	125.00	0.1	12.50	108,000	83%	54%
3	AIRTEC	Tj 02E	60,000	100	30.26	0.1	3.03	26,141	41%	27%
4	AIRTEC	Gal 2	60,000	100	39.87	0.1	3.99	34,449	53%	35%
5	TOMOCORP	GI 03e	60,000	150	42.55	0.1	4.25	36,763	38%	38%
Sub total			180,000	350	362.68			97,354		100%

Nota: Elaboración propia

Tabla 57

Consumo de energía de Ventiladores auxiliares.

Ítem	Marca	Labor	Caudal Nominal cfm	Pot. Nom. HP	Pot. Real Kw	Costo Energía. US\$/Kw-Hr	Costo US\$/Hr	Costo Energía US\$/año	R.P. %	Distrib. Energía
Ventilador Auxiliar										
1	TOMOCORP	Gal 14e/ Nv 4460	30,000	75	26.71	0.1	2.67	23,079	48%	16%
2	TOMOCORP	Rp 531	30,000	75	34.05	0.1	3.40	29,415	61%	20%
3	TOMOCORP	Tj 08N	30,000	75	36.38	0.1	3.64	31,428	65%	21%
4	TOMOCORP	Gal 14e/ Nv 4530	30,000	75	40.37	0.1	4.04	34,880	72%	24%
5	TOMOCORP	Gal 06	30,000	75	32.50	0.1	3.25	28,077	58%	19%
Sub total			150,000	375	170.00			146,879		100%

Nota: Elaboración propia

El consumo anual proyectado a mediano plazo en ventilación es de 442,953US\$/año y los ingresos son 433,813.69 cfm como muestra la siguiente tabla.

Tabla 58

Comparación de Costo por consumo de energía de CORI PUNO con otras minas.

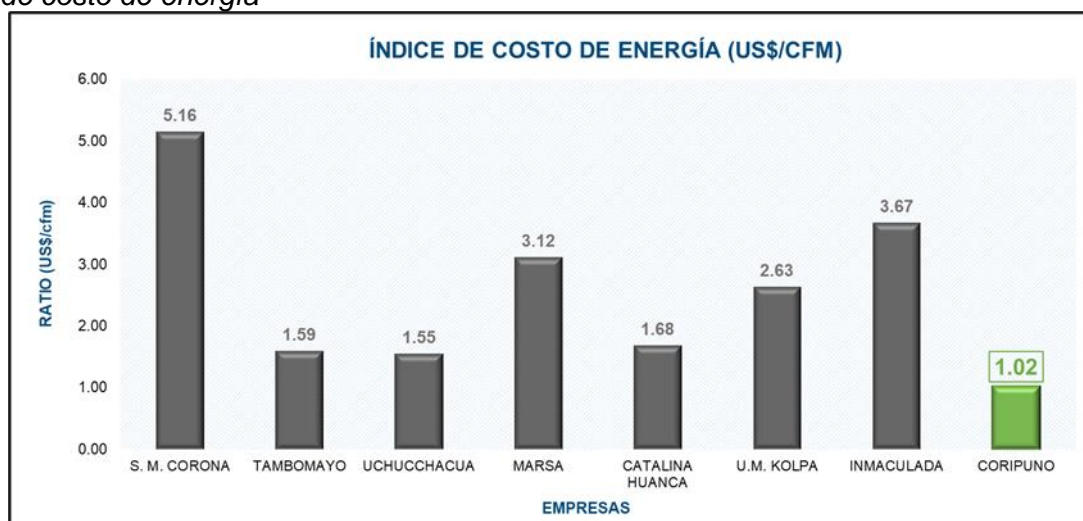
MINA	Caudal de Ingreso (CFM)	Costo por consumo de Energía (US\$)	Índice de Costo de Energía (US\$/CFM)
S. M. CORONA	405,910	2,092,638	5.16
TAMBOMAYO	539,088	858,366	1.59
UCHUCCHACUA	1,208,103	1,869,269	1.55
MARSA	571,236	1,780,476	3.12
CATALINA		1,041,600	
HUANCA	618,704		1.68
U.M. KOLPA	376,717	992,116	2.63
INMACULADA	554,668	2,037,683	3.67
CORIPUNO	433,813.69	442,953	1.02

Nota: Elaboración propia

El costo de energía-ventilación es \$1.02 / cfm, siendo este valor el más bajo en comparación de los proyectos mineros.

Figura 47

Índice de costo de energía



Nota: Elaboración propia

4.3.9 Resumen de análisis de resultados

Tabla 59

Resumen de análisis de resultados

	Situación actual	Proyectos a mediano plazo
Cobertura de aire	171%	167%
Caudal de ingreso de aire	296,510 cfm	433,813.7 cfm
Índice de Consumo de energía	US\$ 0.82 /cfm	US\$ 1.02 /cfm
Proyectos	06 ventiladores secundarios. No se tienen RB o chimeneas ejecutadas	-Zona Carmen: Se ejecutará el RB 01 (160 m) en 2 tramos para ventilar polvorín auxiliar en interior mina. Para la zona de profundización de minado se ejecutará el RB 02 (120 m). El aire viciado saldrá por la BM CORI RIQUEZA a través de 01 ventilador extractor de 80 kcfm. -Ore Sorting: Se ejecutará el RB 03 (80m) y se instalará 01 ventilador de 150 kcfm para ventilar la planta de Ore Sorting y así evitar la polución.

Nota: Elaboración propia

Conclusiones

El balance de ventilación indica un caudal de ingreso total de aire fresco de 296,510 cfm y la necesidad de aire (demanda) es de 173,826 cfm, siendo la cobertura actual del sistema de 171%.

La ventilación natural no mantiene constante el flujo del aire en algunos ingresos y salidas de aire.

El costo de energía-ventilación es \$0.82 / cfm, siendo este valor el más bajo en comparación a los proyectos.

El gradiente geotérmico es de 1.12°C por cada 100 metros, esto significa que a medida que suba o baje 100 metros la temperatura va a variar en 1.12 °C.

Las temperaturas medidas en interior mina están dentro de los LMP (<23°C), según el reglamento D.S. N° 024-2016 y su modificatoria D.S. N° 023-2017.

Del levantamiento de campo, se ha determinado que en las labores RP-531, CM-531, RP-500S, GL-44E, CX-530, GL-47E y RP-553 tienen velocidades menores al LMP (25m/min) según el reglamento D.S. N° 024-2016 y su modificatoria D.S. N° 023-2017.

A corto plazo:

Se debe realizar un programa de encauzamiento de los flujos de aire mediante ventilación forzada, para ello se tendrá que colocar un ventilador secundario de 80k cfm como extractor en el Nv 4460 GL 13E y otro ventilador secundario extractor de 60k cfm en el Nv 4475 GL 13E para poder superar el LMP (25 m/min para el uso de ANFO) establecido por la normativa peruana. Adicionalmente se instalará un ventilador auxiliar de 30k cfm cuando se requiera explotar las galerías anteriormente mencionadas. En la GL 13E del Nv 4475 se requiere limpiar la galería para la correcta instalación del ventilador mencionado anteriormente.

A mediano plazo:

El requerimiento de aire para una proyección a mediano plazo (QTo) es de 200,026 cfm; Para el personal (Qtr) es 16,951 cfm; para equipos Diésel (Qeq) es 156,984 cfm; el requerimiento de aire por fugas (QFu) es 26,090 cfm.

El caudal de ingreso proyectado es de 433,814 cfm; mientras que el caudal de ingreso que se distribuirá en las zonas de trabajo y labores de tránsito es de 333,814 cfm.

La cobertura global hipotético será de 217%; sin embargo, para la planta de Ore Sorting se proyecta un caudal de 80,000 cfm y para el polvorín 20,000 cfm, sumando un total de 100,000 cfm, este caudal de aire no se considera dentro del balance y cobertura del caudal de aire de la mina, dado que tienen una zona específica a ventilarlo constantemente con ese caudal teniendo así una cobertura real a mediano plazo de la mina cruz de oro de 167%.

Diámetros óptimos para los RB 01, RB 02 y RB 03 fueron de 3.1 m para evitar resistencias

Para el RB 01 y RB 02 se plantea instalar 01 ventilador extractor de aire viciado cuya capacidad será de 80,000 cfm cada uno, con una presión total de 8" H2O y una potencia de 163.96HP.

Para el RB 03 se plantea instalar 01 ventilador extractor de aire viciado cuya capacidad será de 150,000 cfm, con una presión a 4540 msnm total de 8" H2O y una potencia de 350HP.

Se obtuvo un CAPEX total **de US\$ 834,403** donde la inversión en infraestructura es US\$ 452,163, la inversión en tapones es **US\$ 4,940** y en compra de ventiladores **US\$ 377,300**.

Se obtuvo un OPEX total de **US\$ 500,537** y un **Costo total de ventilación anual de US\$ 1'334,940**.

El consumo de energía para una proyección a mediano plazo es de **US\$/cfm 1.02**.

Recomendaciones

Verificar el certificado de calibración de los anemómetros antes de realizar las mediciones en las estaciones de ventilación.

Registrar y monitorear diariamente el circuito de ventilación principal, secundario y auxiliar, asegurándonos que cumplen los LMP (25 m/min para el uso de ANFO) establecido por la normativa peruana.

No se debe realizar trabajos en labores no ventiladas, así como se observó en el Nv 4530 GL 13E. Se recomienda la instalación de ventiladores auxiliares con sus respectivas mangas a frentes ciegos para brindar el confort necesario al personal.

Mantener los planos topográficos 2D y modelo Ventsim Design actualizados para garantizar el adecuado sistema de ventilación y proponer alternativas de soluciones para optimizar el flujo de aire.

Realizar el mantenimiento respectivo a las mangas de ventilación para evitar pérdidas de presión por fugas de aire.

Referencias bibliográficas

- ASHRAE 111, Practices for measurement, testing adjusting and balancing of building heating, ventilation, Air-conditioning and refrigeration Systems.
- ASHRAE. Mine air conditioning and ventilation (Chapter 27).
- Castro, Y. (2018). Optimización de la ventilación auxiliar a través de un Banco de Pruebas.
- Huaraya, E. (2021). Planificación y diseño 3D del sistema de ventilación a largo plazo, caso estudio mina Santander-Glencore.
- Jiménez, P. A. (2011) Ventilación de Minas Subterráneas y Túneles. Perú
- McPherson, M.J. (2016). Ingeniería de Ventilación Subterránea. Howden (2016). Manual de Ventiladores y Curvas características. Brasil
- Ministerio de Energía y Minas (2016). D.S. N° 024-2016-EM y su actual modificatoria D.S. N° 023-2017-EM. Decreto Supremo que aprueba el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería.
- Raico, A. (2019). Evaluación y optimización del sistema de ventilación del túnel de exploración Chaquicocha nivel 3750-Minera Yanacocha.
- Servicio Nacional de Geología y Minería (2008). Guía metodológica de seguridad para ventilación de minas: Departamento de seguridad minera. Chile
- Soncco, C. (2016). Diseño de un nuevo sistema de ventilación para la dilución de gases nocivos en la Unidad minera Untuca, Sandía-Puno.
- Toro S.C, Rueda NR, Marín G.A. (2012). Estandarización del proceso de ventilación en minas de carbón-Caso Carbones del Caribe S.A.S. Colombia.

Anexos

	Pág.
Tabla 1: Levantamiento de estaciones principales.....	2
Tabla 2: Levantamiento de estaciones secundarias por niveles.....	3
Tabla 3: Evaluación del factor k.....	5
Figura 1: Curvas características de ventiladores RB 01.....	6
Figura 2: Curvas características de ventiladores RB 02.....	6
Figura 3: Curvas características de ventiladores RB 03.....	7
Tabla 4: Inventario de ventiladores a mediano plazo	8
Figura 4: Medición de presiones en el ventilador Airtec de 60 KCFM en el aforo de ingreso de aire – TJ02W	9
Figura 5: Medición de velocidades en la salida del ventilador Tomocorp de 30 KCFM en el aforo de ingreso de aire-GL 06E en el nivel 4530	9
Figura 6: Medición de las velocidades en la GL 01 nivel 4475.....	10
Figura 7: Punto de monitoreo de Estación de ventilación secundaria señalando la dirección del flujo de aire.	10

Tabla 1: Levantamiento de estaciones principales.

Est.	Fecha	Ubicación			Sección				Vel.		Caudal	
		Nivel	Labor	Referencia	Ancho (m)	Alto (m)	Forma	Área (m ²)	m/s	m/min	m ³ /min	Cfm
EVP-01	08/02/2020	4460.00	GL-19E	Conecta Superfie	4.23	2.76	BAÚL	10.95	1.18	71	774.6	27,355
EVP-02	08/02/2020	4460.00	GL-18E	Conecta Superfie	4.24	4.29	BAÚL	17.06	0.61	36	621.1	21,932
EVP-03	08/02/2020	4460.00	GL-17E	Conecta Superfie	3.88	4.10	BAÚL	14.92	0.11	7	102.5	3,618
EVP-04	08/02/2020	4460.00	GL-16E	Conecta Superfie	4.11	4.47	BAÚL	17.23	0.13	8	135.6	4,787
EVP-05	08/02/2020	4460.00	GL-14E	Conecta Superfie	4.75	4.30	BAÚL	19.16	1.02	61	1,172.5	41,407
EVP-06	08/02/2020	4460.00	GL-13E	Conecta Superfie	4.29	4.02	BAÚL	16.18	0.65	39	629.8	22,241
EVP-07	08/02/2020	4475.00	GL 14	Conecta Superfie	4.08	3.83	BAÚL	14.66	0.72	43	629.3	22,223
EVP-08	08/02/2020	4515.00	RP 500	RP 500	5.30	5.40	BAÚL	26.85	0.51	31	821.6	29,015
EVP-09	08/02/2020	4515.00	RP 09W	Conecta Superfie	4.13	3.63	BAÚL	14.06	0.13	8	109.7	3,874
EVP-10	08/02/2020	4515.00	GL-14E	Conecta Superfie	5.08	4.27	BAÚL	20.35	0.19	11	230.6	8,143
EVP-11	09/02/2020	4530.00	GL-02W	Ventilador 60k cfm	1.47	Ø	CIRCULAR	1.70	24.83	1490	1,823.2	64,386
EVP-12	08/02/2020	4530.00	GL 13	Conecta Superfie	4.72	5.18	BAÚL	22.93	0.07	4	95.0	3,355
EVP-13	08/02/2020	4530.00	CX 532-N	Conecta Superfie	4.53	4.18	BAÚL	17.76	0.14	8	146.8	5,185
EVP-14	08/02/2020	4530.00	GL 06	Ventilador 30k cfm	4.05	4.10	BAÚL	15.58	0.42	25	1,104.0	38,987
Total											8,396.2	296,510

Nota: Elaboración propia

Tabla 2: Levantamiento de estaciones secundarias por niveles

Estación	Ubicación		a(m), Φ(m)	Sección		Área m2	Vel.			Campo	
	Nivel	Labor		h(m)	Forma		m/s	m/min	LMP	m3/min	cfm
EVS-01	4460	RP 501	5.52	4.62	BAUL	23.92	0.73	44	25	1,048	37,001
EVS-02	4460	GL 14	4.42	4.44	BAUL	18.41	0.80	48	25	884	31,204
EVS-03	4460	RP CARMEN	4.88	4.47	BAUL	20.46	0.62	37	25	761	26,880
EVS-04	4460	RP460	4.94	4.41	BAUL	20.43	1.48	89	25	1,815	64,082
EVS-05	4460	GL 11	4.66	4.70	BAUL	20.54	0.61	37	25	752	26,554
EVS-06	4460	CX501	4.74	4.16	BAUL	18.50	0.90	54	25	999	35,271
EVS-07	4460	GL 05	4.27	4.08	BAUL	16.34	0.61	37	25	598	21,122
EVS-08	4460	GL 06	4.11	4.44	BAUL	17.12	0.46	28	25	472	16,684
EVS-09	4460	TJ 05	4.63	4.90	BAUL	21.28	0.53	32	25	677	23,898
EVS-10	4460	RP 500	4.24	4.00	BAUL	15.91	0.42	25	25	401	14,157
EVS-11	4475	RP500	4.70	4.16	BAUL	18.34	0.61	37	25	671	23,704
EVS-12	4475	GL 11	4.19	4.15	BAUL	16.31	1.06	64	25	1,037	36,633
EVS-13	4475	RP 09	3.52	2.95	BAUL	9.74	0.71	43	25	415	14,653
EVS-14	4475	RP 531	4.15	4.04	BAUL	15.73	0.24	14	25	226	7,997
EVS-15	4475	INC J	3.77	3.43	BAUL	12.13	1.54	92	25	1,121	39,579
EVS-16	4475	GL 10	9.42	4.20	BAUL	37.11	0.75	45	25	1,670	58,975
EVS-17	4475	INC E	4.20	4.45	BAUL	17.53	1.09	65	25	1,147	40,490
EVS-18	4475	GL 15	3.78	3.46	BAUL	12.27	0.85	51	25	626	22,095
EVS-19	4475		3.95	3.88	BAUL	14.38	0.48	29	25	414	14,621
EVS-01	4515		3.83	4.64	BAUL	16.67	0.10	6	25	95	3,355
EVS-03	4515		4.39	4.09	BAUL	16.84	0.73	44	25	734	25,932
EVS-04	4515		4.74	4.16	BAUL	18.50	0.60	36	25	665	23,471
EVS-05	4515		4.80	4.48	BAUL	20.17	0.14	9	25	172	6,078
EVS-06	4515		4.60	4.32	BAUL	18.64	0.45	27	25	502	17,729
EVS-07	4515		4.97	4.57	BAUL	21.30	0.64	38	25	814	28,740
EVS-08	4515		4.25	4.00	BAUL	15.95	0.49	30	25	471	16,631

EVS-01	4530	5.49	3.80	BAUL	19.57	1.23	74	25	1,445	51,046
EVS-02	4530	4.19	3.57	BAUL	14.03	0.46	27	25	384	13,577
EVS-03	4530	4.72	4.04	BAUL	17.89	0.56	34	25	606	21,392
EVS-04	4530	5.12	4.80	BAUL	23.05	0.05	3	25	68	2,388
EVS-05	4530	4.84	4.64	BAUL	21.07	0.20	12	25	247	8,729
EVS-07	4530	4.62	3.98	BAUL	17.25	0.51	31	25	530	18,719
EVS-08	4530	4.37	4.22	BAUL	17.30	0.37	22	25	384	13,561
EVS-10	4530	4.16	4.06	BAUL	15.84	0.78	47	25	741	26,183
TOTAL										833,134

Nota: Elaboración propia

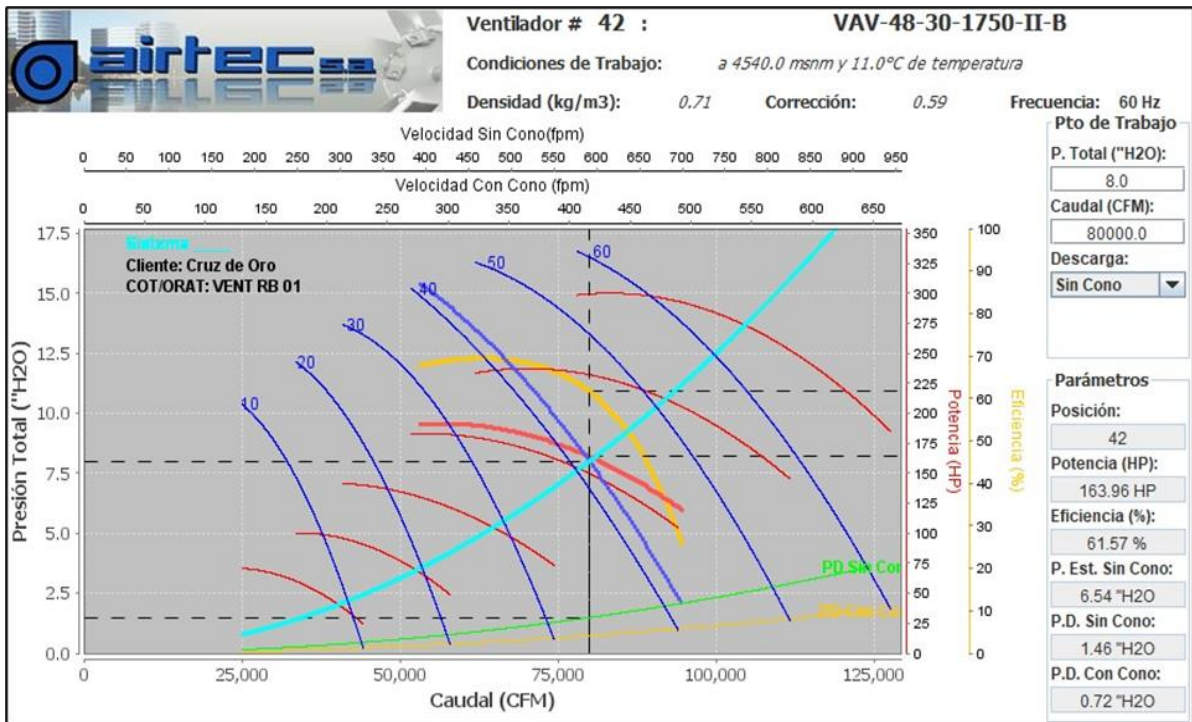
Se realizó la evaluación del Factor K en las siguientes labores: RP 530, GL-02E, RP 500 Y CX 532N y la caída de presión (Hf).

Tabla 3: Evaluación del factor k

ITEM	PTO	HORA	UBICACIÓN		HR%	TWb (°C)	T °C	SECCIÓN		AREA		PERIMETRO		PRESION TOTAL	PT	LONG (m)	VELOCIDAD		FACTOR FRICCIÓN (K)	FACTOR	RESIST. (R)
			NIVEL	LABOR				A (m)	H (m)	A PROM	P. (m)	P. PROM (m)	Prom PT	Δ PT1-2	V m/seg		V Prom m/seg	kg/m3	kg/m3	Ns2/m8	
1	K1	16:11	4530	RP 530	76.00	7.70	9.6	4.94	5.84			19.6233562	0.012			1.517		0.0974	0.1616	0.0019	
	K1'	16:05	4530	RP 530	76.00	7.70	9.6	4.38	5	23.8015624	18.35158995	17.0798237	0.003	0.983	14.00	0.418					
2	K2	16:38	4460	GL-02E	70.20	9.80	12.6	4.16	3.97			14.8399689	0.006			0.987		0.0014	0.0023	0.0001	
	k2'	16:43	4460	GL-02E	70.20	9.80	12.6	4.42	4.05	16.1411978	15.15620716	15.47244543	0.006	0.017	15.00	0.856					
4	k4	17:48	4500	RP 500	69.60	10.40	13.4	4.8	4.22			16.49123721	0.004			0.547		0.2473	0.4105	0.0126	
	k4'	17:42	4500	RP 500	69.60	10.40	13.4	4.62	4.174	18.54420372	16.28004572	16.06885424	0.028	2.450	20.00	0.956					
5	k5	15:25	4530	CX 532N	76.10	11.70	8.3	4.6	4.03			15.77939873	0.009			0.972		0.0192	0.0318	0.0011	
	k5'	15:52	4530	CX 532N	76.10	11.70	8.3	4.6	4.26	17.884846	15.98045465	16.18151058	0.006	0.317	20.00	0.950					

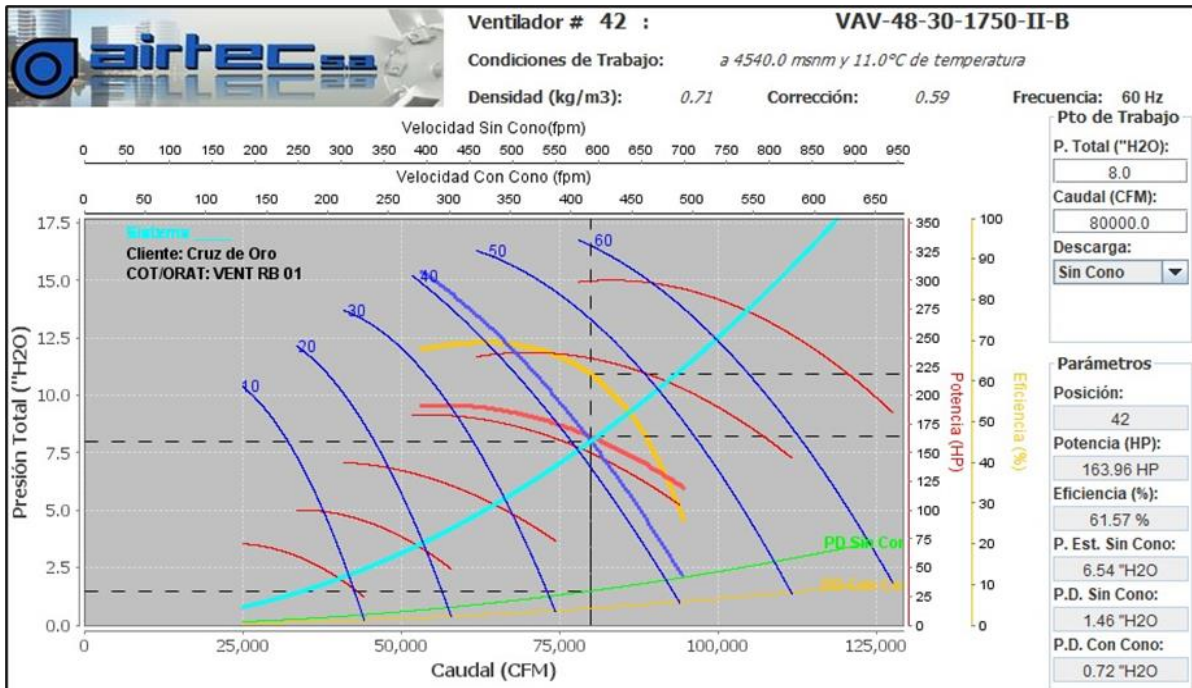
Nota: Elaboración propia

Figura 1: Curvas características de ventiladores RB 01



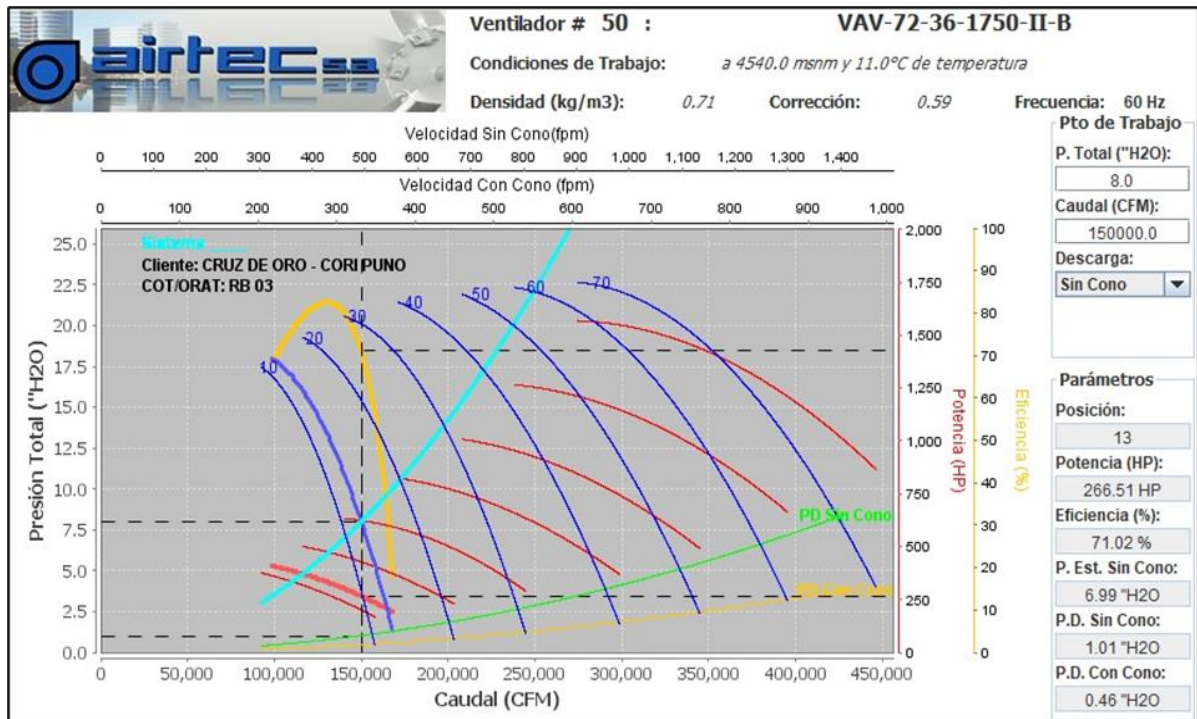
Nota: Elaboración propia

Figura 2: Curvas características de ventiladores RB 02



Nota: Elaboración propia

Figura 3: Curvas características de ventiladores RB 03



Nota: Elaboración propia

Tabla 4: Inventario de ventiladores a mediano plazo

MEDIANO PLAZO												
INVENTARIO DE VENTILADORES MINA CORIPUNO - MARZO 2020												
ITEM	ESTADO	CAPACIDAD (CFM)	TIPO	POTENCIA NOMINAL KW	POTENCIA NOMINAL HP	AMPERAJE ACTUAL	MARCA	HZ	Pulg. H2O 4600 m.s.n.m	RPM	NIVEL	FUNCION
EXTRACTORES EN SUPERFICIE												
1	MEDIANO PLAZO	80,000	VAV-48-30-1750-II-B	122.31416	163.96	-	AIRTEC	60	8	-	4530	Extractor/Superficie
2	MEDIANO PLAZO	80,000	VAV-48-30-1750-II-B	122.31416	163.96	-	AIRTEC	60	8	-	4530	Extractor/Superficie
3	MEDIANO PLAZO	150,000	VAV-72-36-1750-II-B	198.81646	266.51	-	AIRTEC	60	8	-	Superficie	Extractor/Superficie
4	ACTUAL	30,000	-	55.95	75	94.3	TOMOCORP	60	-	3450	4475	Extractor/Superficie
5	ACTUAL	60,000	-	74.6	100	91.1	AIRTEC	60	-	1750	4530	Extractor/Superficie
6	ACTUAL	30,000	VAV-32-18-3450-II	55.95	75	76.1	TOMOCORP	60	9.68	3560	4530	Extractor/Superficie
7	ACTUAL	30,000	VAV-12-18-3450-II	55.95	75	59.7	AIRMAX	60	9.68	3560	4460	Extractor/Superficie
8	ACTUAL	60,000	15821-A	74.6	100	69.8	AIRTEC	60	9.63	1750	4475	Extractor/Superficie
MINA CORI RIQUEZA												
9	ACTUAL	30,000	VAV-32-18-3450-II	55.95	75	87.3	AIRMAX	60	9.68	3450	4475	Inyector interior mina
10	ACTUAL	60,000	VAV-48-30-1750-II-B	83.24614	111.59	-	AIRTEC	60	8	-	4460	Extractor/Superficie
11	ACTUAL	30,000	VAV-12-18-3450-II	55.95	75	59.7	AIRMAX	60	9.68	3560		Stanby

Nota: Elaboración propia

Figura 4: Medición de presiones en el ventilador Airtec de 60 KCFM en el aforo de ingreso de aire – TJ02W



Nota: Mediciones en ventilador 60 kcfm en U.M. Cori Riqueza

Figura 5: Medición de velocidades en la salida del ventilador Tomocorp de 30 KCFM en el aforo de ingreso de aire-GL 06E en el nivel 4530



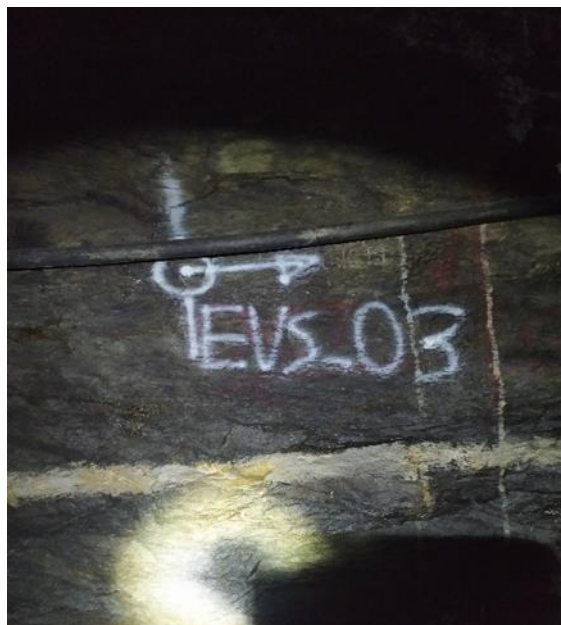
Nota: Mediciones en ventilador 60 kcfm en U.M. Cori Riqueza

Figura 6: Medición de las velocidades en la GL 01 nivel 4475.



Nota: Mediciones velocidades en U.M. Cori Riqueza

Figura 7: Punto de monitoreo de Estación de ventilación secundaria señalando la dirección del flujo de aire.



Nota: Mediciones velocidades en U.M. Cori Riqueza