



# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“INFLUENCIA DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN EN LA RAMPA PATRICK - PROFUNDIZACIÓN ENTRE LOS NIVELES 2,470 AL 2,240 EN UNA MINA SUBTERRÁNEA EN PATAZ - LA LIBERTAD 2,018”.

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO DE MINAS

Autores:

Bach. Luis Ricardo Castrejon Lopez

Bach. Juan Fernando Rodriguez Marquina

Asesor:

Ing. Ricardo Antonio Saavedra Zapata

Trujillo - Perú

2019

## DEDICATORIA

Esta tesis lo dedico a todas las personas que son especiales en mi vida, que en algún momento me alentaron para cumplir con este desafío de convertirme en un ingeniero.

A ti esposa mía Maribel que a pesar de mi forma de ser temperamental contigo y mis hijos, siempre estuviste ahí cuando te necesitaba para cumplir este desafío y cumplir con uno de mis objetivos personales; ser un gran profesional.

A mis hijos Ariana, Gabriela, Fabricio por haberles robado parte de su vida, pero quiero que se sientan orgullosos de su padre y con esto demostrarles que todo se puede cumplir en la vida cuando uno se propone.

A mis padres Juan y María, gracias por inculcarme valores como la responsabilidad, honestidad, honradez, veracidad pilares para ser una excelente persona y porque siempre quisieron lo mejor para su hijo.

Y por último uno especial a ti madrina Susana, por todos los consejos hechos durante mi infancia, juventud, por tener siempre una palabra alentadora para mí, una vez más gracias por todo.

A todos ustedes les dedico estas líneas.

*Juan Fernando Rodriguez Marquina*

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional y de manera muy especial a mis padres José y María, quienes fueron el pilar más importante y demostraron siempre su cariño y apoyo incondicional; que me enseñaron a no desfallecer ni a rendirme ante nada y siempre perseverar a través de sus sabios consejos.

A las mujeres que iluminan mi vida; Gladys y Sofía, la primera por enseñarme a descubrir el amor, estar junto a mí a pesar de todas las dificultades y apoyarme a lo largo de todos estos años caminando de mi mano, la segunda, por brindarme la oportunidad de ser padre nuevamente y llegar a mi vida para convertirse en mi princesa.

A mi hijo, Gustavo, quien, con su mirada, me motivaba a seguir adelante y es un plus para ser su ejemplo

*Luis Ricardo Castrejón López*

## AGRADECIMIENTO

Nuestro más sincero agradecimiento a los Profesores de la Universidad Privada del Norte de la Facultad de Ingeniería, quienes a través de la enseñanza que nos impartieron contribuyeron a nuestra formación; y de manera especial a nuestro asesor Ricardo Antonio Saavedra Zapata que gracias a su apoyo y orientación se pudo realizar y materializar la presente Tesis

*Los autores*

## Tabla de contenidos

<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>4</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>7</b>
<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS .....</b>	<b>8</b>
<b>CAPÍTULO 1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>10</b>
1.1. Realidad problemática .....	10
1.2. Antecedentes de investigación .....	14
1.3 Definiciones conceptuales .....	18
1.3.1 Ventilación de minas.....	18
1.3.2. Componentes de una red de ventilación.....	23
1.3.3 Sistemas de ventilación .....	26
1.3.4 Requerimiento de aire.....	27
1.3.5 Ley básica de la ventilación de minas.....	28
1.3.6 Factores de la ventilación .....	29
1.3.7 Presión de una mina .....	30
1.4. Formulación del problema.....	33
1.4.1. Objetivo General .....	33
1.4.2. Objetivos específicos.....	35
1.5. Hipótesis.....	34
1.5.1. Hipótesis general .....	34
1.5.2. Hipótesis específicas .....	34
<b>CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>35</b>
2.1. Ámbito de estudio.....	35
2.2. Tipo de investigación.....	35
2.3. Nivel de investigación.....	35
2.4. Método de la investigación.....	35
2.4.1. Método general .....	35
2.4.2. Método específico .....	35
2.5. Diseño de la investigación .....	35
2.6. Población y muestra .....	36
2.6.1. Población.....	36
2.6.2. Muestra .....	36
2.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	36
2.7.1. Técnicas.....	36
2.7.2. Instrumentos .....	36
2.8. Procedimiento de recolección de datos.....	37
2.9. Técnicas de procesamiento y análisis de datos .....	37

<b>CAPÍTULO 3. PLANTEAMIENTO DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN .....</b>	<b>38</b>
3.1. Ingresos y salidas de aire – Levantamiento de campo .....	40
3.2. Requerimiento de aire para personal .....	42
3.3. Requerimiento de aire para equipos Diésel .....	42
3.4. requerimiento de aire global .....	43
3.5. Simulación en software – condición actual.....	45
3.6. Revisión de los parámetros de operación .....	45
3.7. Análisis de temperatura – Rampa Patrick .....	46
3.8. Curva característica de la mina .....	47
3.9. INFRAESTRUCTURA DE LOS PROYECTOS A CORTO PLAZO – 1 AÑO .....	48
3.9.1. <i>Plan de trabajo a 1 año.....</i>	48
3.9.2. <i>Análisis de velocidades a 1 año .....</i>	55
3.9.3. <i>Análisis de la temperatura a 1 año.....</i>	55
3.10. INFRAESTRUCTURA DE LOS PROYECTOS A MEDIANO PLAZO – 3 AÑOS ...	56
3.10.1. <i>Plan de trabajo profundización RP Patrick III – veta Daniela .....</i>	57
3.10.2. <i>Cálculo de la flota de equipos diésel y personal .....</i>	63
3.10.3. <i>Análisis de velocidades de aire – proyecto 3 años .....</i>	65
3.10.4. <i>Análisis de temperatura – proyecto 3 años.....</i>	65
3.11. INFRAESTRUCTURA DE LOS PROYECTOS A LARGO PLAZO – 5 AÑOS .....	66
3.11.1. <i>Plan de trabajo profundización RP Patrick III- Veta Daniela .....</i>	66
3.11.2. <i>Cálculo de la flota de equipos diésel y personal .....</i>	73
3.11.3. <i>Análisis de velocidades proyecto a 5 años .....</i>	74
3.11.4. <i>Análisis de temperatura proyecto a 5 años.....</i>	74
3.12. SELECCIÓN Y UBICACIÓN DE LOS VENTILADORES .....	76
3.12.1. <i>Etapas proyecto a un año.....</i>	76
3.12.2. <i>Etapas proyecto a 3 años.....</i>	77
3.12.3. <i>Etapas proyecto a 5 años.....</i>	79
3.13. COSTO DE VENTILACIÓN – CIRCUITO PRINCIPAL .....	81
3.13.1. <i>Costos de capital – CAPEX.....</i>	81
3.13.2. <i>Costos de operación – OPEX.....</i>	84
3.13.3. <i>Costo unitario del sistema de ventilación primario.....</i>	85
3.14. PLAN DE TRABAJO Y MEJORA CONTINUA .....	87
<b>CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>88</b>
4.1. CONCLUSIONES.....	88
4.2. RECOMENDACIONES .....	90
<b>CAPÍTULO 5. Bibliografía .....</b>	<b>93</b>
<b>CAPÍTULO 6. ANEXOS .....</b>	<b>95</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Límites máximos permisibles .....	19
Tabla 2 Capex y Opex por años .....	40
Tabla 3 Caudales de ingreso de aire fresco.....	40
Tabla 4 Caudales de salida de aire viciado .....	41
Tabla 5 Requerimiento de aire para personal – abril 2,018 .....	42
Tabla 6 Requerimiento de aire para equipos diésel – abril 2,018 .....	43
Tabla 7 Requerimiento global .....	43
Tabla 8 Resumen cobertura de aire – abril 2,018 .....	43
Tabla 9 Inventario de ventiladores principales .....	44
Tabla 10 Requerimiento de aire para personal – circuito Daniela .....	63
Tabla 11 Requerimiento de aire para equipos diésel – circuito Daniela .....	64
Tabla 12 Balance de ventiladores circuito Daniela.....	64
Tabla 13 Parámetro ventilador principal de 150 000 proyectado .....	70
Tabla 14 Requerimiento de aire para personal – circuito Daniela .....	73
Tabla 15 Requerimiento de aire para equipos diésel – circuito Daniela .....	73
Tabla 16 Balance de ventilación – circuito Daniela .....	74
Tabla 17 Ventiladores principales – proyecto etapa a 1 año.....	76
Tabla 18 Caída de presión del sistema – proyecto etapa a 1 año .....	76
Tabla 19 Requerimiento total de aire – proyecto etapa a 1 año .....	77
Tabla 20 Balance total de aire – proyecto etapa a 1 año.....	77
Tabla 21 Ventiladores principales – proyecto etapa a 3 años .....	77
Tabla 22 Ventilador secundario – proyecto etapa a 3 años.....	78
Tabla 23 Caída de presión del sistema – proyecto etapa a 3 años.....	78
Tabla 24 Requerimiento total de aire – proyecto etapa a 3 años.....	78
Tabla 25 Balance total de aire – proyecto etapa a 3 años .....	78
Tabla 26 Ventiladores secundarios – proyecto etapa a 5 años .....	79
Tabla 27 Caída de presión del sistema – proyecto etapa a 5 años.....	79
Tabla 28 Requerimiento total de aire – proyecto etapa a 5 años.....	80
Tabla 29 Balance total de aire – proyecto etapa a 5 años .....	80
Tabla 30 Resumen de ventiladores principales por etapas de 1 a 5 años .....	80
Tabla 31 Resumen de ventiladores secundarios por etapas .....	81
Tabla 32 Costo del capital del sistema primario - CAPEX.....	82
Tabla 33 Flujo de inversión desglosado por año – CAPEX.....	83
Tabla 34 Costo de operación del sistema primario .....	84
Tabla 35 Capex y Opex acorde al programa de producción a largo plazo .....	85
Tabla 36 Plan de trabajo y mejora continua .....	87

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Caudales de ingreso de aire .....	41
Gráfico 2 Caudales de salida de aire .....	41
Gráfico 3 Análisis de temperatura RP - Patrick.....	46
Gráfico 4 Curva característica actual de la mina .....	47
Gráfico 5 Proyecto RP – C 17.....	48
Gráfico 6 Proyecto XC – N 07 .....	49
Gráfico 7 Proyecto RC – N 07 .....	50
Gráfico 8 Gráfica de los 2 ventiladores propuestos en serie (110,000 cfm c/u).....	51
Gráfico 9 Esquema de RB 07 .....	51
Gráfico 10 Proyecto de chimenea RC – N2.....	52
Gráfico 11 Proyecto by pass con sección 3.0 x 3.0 m. en el Nv 3220 .....	53
Gráfico 12 Ventilador principal extractor propuesto de 150,000 cfm.....	53
Gráfico 13 Proyecto RC – N03 .....	54
Gráfico 14 Análisis de velocidades incluyendo los proyectos a 1 año.....	55
Gráfico 15 Análisis de las temperaturas considerando los proyectos a 1 año .....	56
Gráfico 16 Profundización eje pique principal vista en elevación.....	57
Gráfico 17 Profundización RC-10 vista en elevación.....	58
Gráfico 18 Profundización RC - 12 vista en elevación.....	59
Gráfico 19 Profundización RC - 11 .....	60
Gráfico 20 Profundización RC – 13 vista en elevación .....	60
Gráfico 21 Vista en elevación – proyecto etapa a 3 años.....	62
Gráfico 22 Análisis de velocidades – proyecto etapa a 3 años .....	65
Gráfico 23 Análisis de temperaturas – proyecto etapa a 3 años.....	65
Gráfico 24 Vista en planta Nv 1920 .....	66
Gráfico 25 Esquema de ventilación – profundización RC principal.....	67
Gráfico 26 Vista de elevación de RC 10 .....	67
Gráfico 27 Profundización RC – 10 Vista en elevación .....	68
Gráfico 28 Profundización RC – 12 vista en elevación .....	69
Gráfico 29 Vista en elevación – proyecto etapa a 5 años .....	71
Gráfico 30 Resumen del sistema final para la veta Daniela.....	72
Gráfico 31 Análisis de velocidades – proyecto etapa a 5 años .....	74
Gráfico 32 Análisis de temperatura – proyecto etapa a 5 años .....	75
Gráfico 33 Resumen global del balance de ingresos y salidas.....	81
Gráfico 34 Flujo de inversión por año.....	82
Gráfico 35 Costo de operación del sistema primario .....	85

## RESUMEN

La presente tesis titulada INFLUENCIA DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN EN LA RAMPA PATRICK - PROFUNDIZACIÓN ENTRE LOS NIVELES 2,470 AL 2,240 EN UNA MINA SUBTERRÁNEA EN PATAZ - LA LIBERTAD – 2018, cuyo objetivo principal influir en el sistema de ventilación en la rampa Patrick – profundización entre los niveles 2,470 al 2,240. Es evidente que el balance de aire de la mina está en una cobertura de 75 %, pasar de minería convencional a mecanizado y la falta de chimeneas principales ha ocasionado que la ventilación en la profundización de la mina (rampa Patrick) desde los niveles 2,470 y 2,240 actualmente se tenga temperaturas altas sobre los 35° centígrados cuando trabajan los equipos diésel y la ventilación no sea suficiente para cubrir la demanda de aire. Plantearemos las mejores alternativas de solución para mejorar la ventilación en la profundización de la mina (rampa Patrick) a un plazo inmediato, mediano y largo plazo, si la mina continua profundizando, se considera que una mala ventilación genera malestar en los trabajadores, fatiga, reacciones corporales lentas para realizar cualquier trabajo y reclamos permanentes ocasionando que los trabajadores no estén conformes en esta zona de trabajo por la deficiente ventilación que genera altas temperaturas en las diferentes labores de la profundización de la rampa Patrick y el aporte de esta empresa especializada es muy importante para el cumplimiento de los objetivos en cuanto a producción de mineral. Los cumplimientos en cuanto a calidad de aire no eran exigentes en el pasado, pero hoy en día son totalmente exigente para mantener ambientes seguros y saludables en cuanto a confort y seguridad. De acuerdo al Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería Decreto Supremo N° 024-,2016-EM (y su modificatoria DS N° 023-2,017 EM).

**Palabras clave:** Influencia, ventilación, profundización

### **1.1. Realidad problemática**

La adecuada ventilación en mina subterránea en operaciones es un proceso vital, el asegurar una atmósfera respirable y segura en beneficio de los trabajadores y para un óptimo desarrollo de sus funciones. Su relevancia, explican académicos y expertos, se debe principalmente a la influencia en la salud de las personas y la productividad, al punto que sin sistemas de ventilación es imposible tener minería subterránea puesto que en el interior se desprenden diferentes tipos de gases, según el mineral a explotar y la maquinaria utilizada. Estos gases pueden ser tóxicos, asfixiantes y/o explosivos, por lo que es necesario diluirlos por debajo de los límites legales establecidos en el Perú. A medida que aumenta la profundidad de la mina la temperatura aumenta. El gradiente geotérmico medio es de 1° cada 33 m de profundidad. Adicionalmente, el funcionamiento de los equipos y máquinas presentes en el interior contribuyen a elevar la temperatura del aire. En este caso la ventilación es necesaria para la climatización de la mina. (Quispe, 2,017)

En el pasado, la minería se daba cerca de la superficie donde estaban disponibles la luz y la ventilación natural. Las fogatas eran utilizadas para introducir el aire fresco dentro de la mina. En las minas de plata de Laurium en Grecia y en minas del Imperio Romano se han encontrado evidencias de la existencia de 9 circuitos de ventilación que datan del 602 A.C. El primer libro de texto de minería fue escrito en latín por Georgius Agrícola, (latinización de Georg Pauer), fue un alquimista, químico y mineralogista alemán, considerado el fundador de la mineralogía moderna. Desarrolló los principios de la metalurgia y de la minería, con escritos sobre temas médicos, químicos, matemáticos e históricos. Su obra más importante es “De Re Metallica”, que se editó en latín en el año 1,556. Las primeras minas fueron diseñadas con entradas duales; una mediante el cual, el aire limpio del exterior fluyera hacia el interior y otra donde se

expulsará éste aire viciado. Incluso algunas fueron asistidas por hornos subterráneos, que utilizaron el principio práctico de la corriente aérea ascendente derivada de un fuego que origina una succión del aire de la mina y éste era substituido por el aire exterior, este método era especialmente peligroso debido a los gases que se acumulaban dentro de la mina. (Guillén, 2016)

Con respecto al ámbito internacional, en el reino unido El primer uso deliberado de la recirculación controlada de aire en las minas de carbón inglesas, fue reportado por Lawton en ,1933. Fue aplicado con la idea de incrementar la velocidad del flujo y enfriar los frentes de trabajo. Sin embargo, de acuerdo a la revisión hecha por Allan en 1983, no se obtuvo ningún efecto significativo en cuanto a refrigeración ni tampoco se realizó un registro de dicha prueba, Allan además expresó su escepticismo a la declaración de que la concentración de metano no aumentó considerablemente en el aire de recirculación. De entre la información que existe respecto a esta prueba, se tiene la observación de uno de los colaboradores de Lawton quien sugirió controlar el polvo usando filtros, idea que permaneció dormida por 40 años.

En el caso sudafricano también los aspectos que históricamente más han preocupado a la ventilación de minas en Sudáfrica son la fracción respirable del polvo con contenido de sílice (Low, 1994), la eliminación de gases producto de la tronadura en minas metalíferas, y la climatización de las minas cuya temperatura en las rocas recién expuestas puede llegar a 50 °C (Stachulak, 1992). La distancia desde el exterior mina al frente que tiene que recorrer el aire en las minas sudafricanas no son tan largas como en las minas de carbón en el Reino Unido, sin embargo para 1,960 ya habían 9 minas en el rango de los 2.500 a 3.700 metros bajo la superficie (8.000 a 12.000 pies) (Low,1994), sumado al costo de refrigerar el aire, la recirculación controlada surgió como una buena alternativa. (Quispe, 2,017)

Un hito en la recirculación controlada de aire en Sudáfrica fue la prueba a gran escala en la mina de oro de Lorraine, realizada en 1,982 (Burton, 1984) la cual tuvo por objetivo el demostrar que la recirculación controlada puede ser una manera práctica, segura y viable de refrigerar y ventilar minas de oro, mostrando que los efectos de la recirculación controlada podían ser predichos con modelos matemáticos. (Quispe, 2,017)

En el ámbito nacional vemos, por ejemplo, que en la mina Mi Grimaldina I, no se tiene un correcto control de la ventilación, en las labores de operación, y por lo tanto no se sabe si existe aire viciado, y afecten la eficiencia de los trabajadores y equipos, por eso es importante tener esta evaluación con el fin de definir las áreas con deficiencia en su laboreo de la mina y plasmar una propuesta de mejora.

Con estos datos se determina si no existe gases nocivos, una correcta circulación del aire, del flujo, el tipo de humedad, está acorde a los reglamentos, normas, de la mina y establecidas específicamente para los trabajadores mineros. (García, 2016)

A nivel nacional algunas empresas mineras con labores subterráneas no presentan un sistema de ventilación definido por lo que esto genera deficiencias en la ventilación y esto trae como consecuencia un ambiente inseguro que no permite que las operaciones de exploración, preparación y explotación se desarrollen de una mejor manera

La mina que es objeto de estudio en estos momentos produce actualmente 1600 TMD y está compuesta por 4 zonas principales de producción: Las Chilcas, (Nv 3,410 al 2,950), Valerías (NV 2,920 al 2,348), Inclinaos (Nv 2,920 al 2,720) e integración (Nv 2,920 al 2,770)

El balance de ventilación registrado en el mes de febrero 2,018 fue de 450,032 cfm (ingreso de aire) y cuyo requerimiento de caudal fue de 674,776 cfm, teniendo una cobertura de 67% (déficit de aire 224,745 cfm)

Al término de la evaluación del sistema de ventilación está representado por un modelo mecanizado (forzado) por 4 ventiladores principales del tipo eléctrico axial, de alabes variables, que representan un total de 480,000 cfm, cuya eficiencia se encontró en un 67%

La mayor demanda de aire lo representa el volumen necesario para la combustión de los motores diésel, representado por un volumen de 553,363 cfm y en porcentaje equivalente al 82% del total, y para el requerimiento de aire para el personal fue de 121,413 cfm representando el 18% del volumen total.

Es necesario, en las condiciones actuales optimizar el uso de equipos diésel, reajustándose a un volumen de 328,618 cfm, equivalente a 3,102 HP (requerimiento actual 5,223 HP) En base a lo descrito, planteamos las propuestas para cubrir las necesidades para el personal y equipos diésel y así garantizar la continuidad operativa de la mina a largo plazo evitando en lo posible la recirculación del aire viciado, reducir las altas temperaturas en diversos niveles y labores de operación; cubriendo así la demanda de aire, durante la etapa de explotación, preparación y desarrollos a fin de brindar un ambiente seguro, saludable y confortable de acuerdo al Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería Decreto Supremo N° 024-2,016-EM (y su modificatoria DS N° 023-2,017 EM).

Dada la presencia de gases, polvo y demás partículas contaminantes se ha visto necesario diseñar un sistema de ventilación para las labores subterráneas de la presente empresa de manera que permita el ingreso requerido de demanda de aire para controlar los gases, polvos, temperaturas de modo que se genere un ambiente de trabajo saludable a los diferentes frentes de trabajo, como a los equipos para optimizar su rendimiento.

## 1.2. Antecedentes de investigación

### Antecedentes internacionales

Según (CARABAJO, 2015) en la tesis titulada “Diseño del circuito de ventilación de la zona norte de la mina cabo de hornos, ubicada en el distrito aurífero - polimetálico portovelo - zaruma” su objetivo general fue de Diseñar el circuito de ventilación para la zona Norte de la Mina Cabo de Hornos de la Empresa Minera ELIPE S.A. y su conclusión fue que El balance de masa de aire fresco demostró que el circuito registra un déficit del 75% del caudal de ingreso necesario, valor que llega a aumentar a medida que avanzan los trabajos de desarrollo minero, debido a que en profundidad no se cuenta con chimeneas ni de inyección ni de extracción, de igual manera la concentración de los gases aumenta en los sectores más profundos de la mina, en los sitios en donde se realizan las operaciones de desarrollo, debido a la utilización de equipos con motores de combustión interna, ambiente que dificulta el eficiente desempeño de los trabajadores y deteriora las condiciones laborales.

El autor (Guillén, 2016) en su investigación, plantea como objetivo Realizar una evaluación integral de la mina HEMCO, que conlleve al modelamiento del nuevo diseño del sistema de ventilación, mediante el soporte del software VENTSIM™, y permita mecanizar el sistema de extracción mediante el empleo de equipos diésel, sin que estos comprometan los niveles superiores de explotación. Y su conclusión fue que El diseñar un sistema de ventilación a través de un simulador es una técnica viable y confiable, evitando gastos innecesarios en equipos e infraestructura; en mi experiencia se observa que numerosas compañías realizan un planeamiento de minado sin tener en cuenta cómo van a ventilar sus operaciones, lo que ocasiona un elevado costo de reingeniería.

Según (Chacha, 2016) en su investigación titulada sistema de ventilación para labores subterráneas de la empresa PRODUMIN S.A. se planteó como objetivo

implementar un sistema de ventilación para interior mina y de esta manera obtener todos los beneficios que esto conlleva, luego de esto, el autor concluyó que, con la implementación de este sistema de ventilación, de acuerdo a la evaluación técnica-económica conseguimos aire limpio en el frente de trabajo que permite acelerar el minado, se disminuye la temperatura, aumenta las condiciones de confort de los trabajadores aumentando su rendimiento e incrementando la producción.

### **Antecedentes nacionales**

El autor (Agüero, 2012) en su investigación titulada “Influencia de la ventilación natural y mecánica en el diseño del sistema de ventilación de las galerías del nivel 1,950 mina Calpa – Arequipa se planteó como objetivo determinar, evaluar la ventilación natural de la galería principal de extracción y la evaluación mecánica de la Galería 635 W del Nivel 1,950, contemplados bajo el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional y por la empresa “INTIGOLD MINING.

El autor (Quispe, 2,017) en su trabajo de investigación, se planteó como objetivo Determinar la situación actual de la ventilación en la mina Uchuchacua y optimizar la misma para mejorar la circulación del aire en interior mina concluyendo que, cuando una mina profunda con una alta producción comienza a experimentar problemas de baja velocidad de aire en los frentes, la aplicación de recirculación controlada podría mantener o disminuir la concentración de la fracción respirable del polvo, siempre que el aire sea suficientemente filtrado.

Según (Oyola, 2013) en su investigación titulada diseño de ventilación en profundización de mina tiene como objetivo concebir el diseño de ventilación adecuado en las labores de profundización de la mina, estableciendo para ello los requerimientos mínimos necesarios de ventilación relacionados al minado subterráneo y cuya conclusión fue que los circuitos de ventilación obtenidos en la simulación demuestran una mejor atmósfera de trabajo en el tajo, ya que ingresará

aire limpio desde la parte superior y saldrá por la base de los tajos llevándose consigo los agentes contaminantes producidos principalmente por los equipos a combustión diesel que operan en la base de los tajos por lo cual los trabajadores en el tajo recibirán aire limpio evitando la acumulación o acolchonamiento de gases y polvos en el tajo.

El autor (Ponciano, 2016) Se plantea como objetivo principal de su estudio garantizar un sistema de ventilación del Proyecto de la mina Invicta de tal manera que permita suministrar aire en la cantidad y calidad requerida por las normas de seguridad minera con el fin de lograr el confort adecuado del trabajador en el área de trabajo.

El cual concluyó que: El uso de herramientas como un programa de ventilación, en nuestro caso el VNET PC en proceso de implementación debería facilitar el trabajo de análisis de circuitos complejos. Se debe tener cuidado en los datos que se ingresan, para ello la experiencia y pruebas son necesarias para alcanzar resultados verdaderos.

Según (Godoy, 2013) Se planteó como objetivo un planteamiento de las mejoras de ventilación de forma integral y zonal de acuerdo a la ejecución de las nuevas infraestructuras “Raise Boring”, con respecto a los requerimientos de aire en el desarrollo y profundización de la mina y su conclusión final fue que a partir del modelo de flujos se logró obtener diferentes escenarios en donde nos indican parámetros más relevantes como caudales, consumo de energía, eficiencia de aire y otros factores, todo ello una vez terminado la ejecución del Raise Boring N° 90.

El autor (Aponte, 2014) se propuso como objetivo principal de su estudio Garantizar la continuidad operativa de la mina a largo plazo, modificando e implementando el diseño del sistema de ventilación. Concluyendo que Con ventiladores de mayor presión estática 10” H<sub>2</sub>O a la altura de la mina cobriza se alcanzó mayor longitud de alcance del flujo de aire de igual manera con el cambio de manga de mayor diámetro 40” se obtuvo mayor alcance del flujo de aire.

### **Antecedentes locales**

Según (García, 2016) su objetivo fue Evaluar la situación actual del sistema de ventilación y propuesta para su optimización en mina subterránea carbonífera Mi Grimaldina I. al término de su investigación, concluyó que la optimización del sistema de ventilación de acuerdo a la topografía, a los monitoreos y al caudal será abrir más cámaras a la superficie ya que la explotación se considera en avance.

El autor (Guizábalo, 2017) en su trabajo titulado modelamiento predictivo del flujo de aire para la optimización del sistema de ventilación en el nivel 4,093 de la unidad minera santa bárbara de Trujillo 2,017 consideró como objetivo principal Desarrollar un sistema de ventilación que incremente la cantidad de aire, disminuyendo el tiempo de ventilación de 3 horas a 0.5 horas, representando un menor costo operativo, en el Nivel 4,093 de la unidad minera Santa Bárbara de Trujillo, llegando a la conclusión que haciendo simulaciones computarizadas del flujo de aire de ventiladores tanto impelentes como extractores y nuevas labores que ayuden en el circuito de ventilación del nivel 4,093 de la mina Santa Bárbara de Trujillo se logrará mejorar el sistema de ventilación reduciendo el tiempo necesario para la dilución y evacuación de gas viciado producto de la voladura de 3 horas a 0.5 horas, para así obtener mejores resultados en cuanto a producción y costos.

(Vergaray, 2017) en su trabajo de investigación titulado optimización del sistema de ventilación de la mina Charito, CIA Poderosa se planteó como objetivo general determinar el diseño y método de ventilación adecuado, que permita optimizar el sistema de ventilación actual de mina Charito, Compañía Minera Poderosa S.A. concluyendo que, El sistema de ventilación de la Mina Charito, es muy sensible a los cambios debido a la variación de los puntos de trabajo. Por lo que fue necesario usar ventilación mecánica o forzada desde bocamina, para satisfacer la necesidad en los distintos puntos de trabajo.

(Guevara, 2018) Plantea como objetivo principal en su estudio el de Evaluar y proponer el sistema de ventilación en el sub nivel 058 en Minera TROY S.A.C– Cajamarca 2018. Y cuya conclusión fue que en la evaluación del sistema de ventilación del sub nivel 058, las mediciones de las velocidades de aire se realizaron con ayuda de un anemómetro Lutrón Electronic Ent. CO., LTD modelo AM - 4206, donde se concluyó que a medida que se profundizan las labores de desarrollo, la velocidad de aire es insuficiente para mantener el ambiente de trabajo en condiciones saludables. En algunos sitios del sub nivel 058 se encuentran velocidades de 0 m/s, inconveniente que ocasiona la recirculación del aire contaminado y el aumento de la temperatura, por lo cual se genera una atmósfera minera con presencia de gases fuera de los límites máximos permisibles según la normativa peruana Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería Decreto Supremo N° 024-2,016-EM (y su modificatoria DS N° 023-2,017 EM).

### **1.3 Definiciones conceptuales**

#### **1.3.1 Ventilación de minas**

En toda actividad minera se velará por el suministro de aire limpio a las labores de trabajo de acuerdo a las necesidades del trabajador, de los equipos y para evacuar los gases, humos y polvo suspendido que pudieran afectar la salud del trabajador, así como para mantener condiciones termo-ambientales confortables. Todo sistema de ventilación en la actividad minera, en cuanto se refiere a la calidad del aire, deberá mantenerse dentro de los límites de exposición ocupacional para agentes químicos. (Guizábalo, 2017).

Según (Quispe, 2,017) La ventilación en minas subterráneas debe cumplir con los siguientes objetivos:

- Suministrar el oxígeno para la respiración de las personas.
- Proporcionar el volumen de aire para los equipos diésel e instalaciones subterráneas.

- Diluir y extraer los gases tóxicos y polvo en suspensión.
- Reducir la temperatura.

Todo sistema de ventilación en la actividad minera, en cuanto se refiere a la calidad del aire, deberá mantenerse dentro de los límites de exposición ocupacional para agentes químicos, (ver tabla 1)

Polvo inhalable	Polvo inhalable 10 mg/m <sup>3</sup>
Polvo respirable	3 mg/m <sup>3</sup>
Oxígeno (O <sub>2</sub> )	Mínimo 19.5% y máximo 22.5%
Monóxido de carbono (CO)	Máximo 29 mg/m <sup>3</sup> o 25 ppm.
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	Máximo 9,000 mg/m <sup>3</sup> o 5,000 ppm. 3,000 por un lapso no superior de 15 min.
Metano (CH <sub>4</sub> )	Máximo 29 mg/m <sup>3</sup> o 5000 ppm.
Hidrogeno sulfurado (H <sub>2</sub> S)	Máximo 14 mg/m <sup>3</sup> o 10 ppm.
Gases nitrosos (NO <sub>x</sub> )	Máximo 0.7 mg/m <sup>3</sup> o 5 ppm.
Anhídrido sulfurosos (SO <sub>2</sub> )	2 ppm mínimo a 5 ppm. Máximo
Aldehídos	Máximo 5 ppm.
Hidrogeno (H)	Máximo 5,000 ppm.
Ozono	Máximo 0.1 ppm.

Tabla 1 Límites máximos permisibles

**Fuente:** Reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería (DS 024-2016 ME)

Teniendo en consideración lo estipulado en el reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería (D.S. N° 024-2016-EM), se tomará en cuenta lo siguiente:

En todas las labores subterráneas se mantendrá una circulación de aire limpio y fresco en cantidad y calidad suficientes de acuerdo con el número de trabajadores, con el total de HPs de los equipos con motores de combustión interna, así como para la dilución de los gases que permitan contar en el ambiente de trabajo con un mínimo de diecinueve punto cinco por ciento (19.5%) de oxígeno.

En los lugares de trabajo de las minas ubicadas hasta mil quinientos (1,500) metros sobre el nivel del mar, la cantidad mínima de aire necesario por hombre será de tres

metros cúbicos por minuto ( $3\text{m}^3/\text{min}$ ). En otras altitudes la cantidad de aire será de acuerdo a la siguiente escala:

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

En ningún caso, la velocidad del aire será menor de veinte metros por minuto ( $20\text{ m}/\text{min}$ ) ni superior a doscientos cincuenta metros por minuto ( $250\text{ m}/\text{min}$ ) en las labores de explotación, incluido el desarrollo y preparación. Cuando se emplee explosivo ANFO u otros agentes de voladura, la velocidad del aire no será menor de veinticinco metros por minuto ( $25\text{ m}/\text{min}$ ). (MINEM, 2017).

### **Ventilación principal**

Toda mina subterránea deberá disponer de Circuitos de Ventilación, natural o forzado, para mantener un suministro permanente de aire fresco y retorno del aire viciado.

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

### **Ventilación Auxiliar**

Como ventilación auxiliar se define aquellos sistemas que haciendo uso de ductos y ventiladores auxiliares, ventilan áreas restringidas de las minas subterráneas.

El objetivo de la ventilación es mantener las galerías en desarrollo y frentes de explotación, con un ambiente adecuado para el buen desempeño de hombres y máquinas, es decir, con un nivel de contaminación ambiental bajo las concentraciones máximas permitidas.

Los frentes de explotación o desarrollo que se encuentren distante de la corriente y la aireación de dicho sitio se haga lenta, deben emplearse ductos u otros medios

auxiliares adecuados a fin que se produzca la renovación continua del aire. (Quispe, 2,017)

### **Ventilación Subterránea**

La ventilación en una mina subterránea es el proceso mediante el cual se hace circular por el interior de la misma el aire necesario para asegurar una atmósfera respirable y segura para el desarrollo de los trabajos, la ventilación se realiza estableciendo un circuito para la circulación del aire a través de todas las labores. Para ello es indispensable que la mina tenga dos labores de acceso independientes: dos pozos, dos socavones, un pozo y un socavón, en las labores que sólo tienen un acceso (por ejemplo, una galería en avance) es necesario ventilar con ayuda de una tubería, la tubería se coloca entre la entrada a la labor y el final de la labor, esta ventilación se conoce como secundaria, en oposición a la que recorre toda la mina que se conoce como principal, los ventiladores son los responsables del movimiento del aire, tanto en la ventilación principal como en la secundaria. Generalmente los ventiladores principales se colocan en el exterior de la mina, en la superficie. (García, 2016)

Principios de la ventilación es por:

- Dos puntos de diferente presión ( $>P_2$  a  $T^2$  a  $< T^1$ ).
- Diferencia de temperaturas ( $> T^2$  a  $< T^1$ ).

### **Consideraciones Técnicas para la Ventilación de Minas Subterráneas**

- En todos los lugares de la mina donde accede personal, el ambiente deberá ventilarse por medio de una corriente de aire fresco, de no menos de 3 metros cúbicos por minutos y por persona, en cualquier sitio de la mina, y la velocidad promedio no podrá ser mayor de 250 m/min, ni inferior a 20 m/min
- En toda mina subterránea se deberá disponer de circuitos de ventilación natural o forzado a objeto de mantener un suministro permanente de aire fresco y retorno del aire viciado.

- En las minas se deberá realizar semestralmente un aforo de ventilación en las entradas y salidas principales de la mina, y permanentemente un control general de toda la mina. Los resultados obtenidos a estos aforos deberán registrarse y mantenerse disponible para el Servicio.
- En las minas donde, para el desarrollo de las galerías se use ventilación auxiliar, el extremo de la manga de ventilación no deberá estar a más de quince metros del frente.
- No se permitirá la ejecución de trabajos en el interior de las minas subterráneas cuya concentración de oxígeno en el aire, en cuanto a peso, sea inferior a 19,5 %.
- En caso de paralización imprevista de los ventiladores principales, el personal deberá ser evacuado de los frentes, hacia lugares ventilados, o a la superficie si es necesario, según las condiciones ambientales existentes.
- Los reguladores de ventilación no deben ubicarse en galerías de acceso o de transporte.
- Los ductos de ventilación y los ventiladores, deberán poseer descarga a tierra. Las puertas principales de ventilación y sus marcos, deben ser construidas de materiales incombustibles o resistentes al fuego y empotrados en la galería. Tales puertas, serán dobles cuando constituyan la única separación entre los flujos de aire principal de entrada y de retorno de la mina. Deben instalarse convenientemente espaciadas para que, durante su utilización, como el paso de personas y/o materiales, a lo menos una de ellas permanezca cerrada. Así también, la puerta que esté abierta, debe estar bien sujeta a la caja, de manera que esta no se cierre por efecto de caudales de aire.
- En toda faena carbonífera subterránea, deberán efectuarse mediciones del contenido de metano (CH<sub>4</sub>), por lo menos cada treinta (30) minutos en el flujo de ventilación y en los frentes de trabajo, después de cada disparo. Este control será efectuado por personal calificado y autorizado, consignando por escrito en libretas especiales o en otro medio adecuado, los valores obtenidos. (Quispe, 2,017)

### **1.3.2. Componentes de una red de ventilación**

#### **a. Flujo de aire o caudal de aire**

El caudal de aire es el principal factor en la caracterización de un sistema de ventilación, ya que establece las condiciones ambientales de la mina, tales como temperatura y humedad, las cuales les brindan a los trabajadores un confort en sus labores. El caudal se ve afectado por las resistencias generadas por las galerías y la capacidad de los ventiladores.

Es la cantidad de fluido de gas que circula a través de una sección del ducto (tubería, cañería, oleoducto, labores) por unidad de tiempo. Es la cantidad de aire que ingresa a la mina y que sirve para ventilar labores, cuya condición debe ser que el aire fluya de un modo constante y sin interrupciones. El movimiento de aire se produce cuando existe una alteración del equilibrio: diferencia de presiones entre la entrada y salida de un ducto, por causas naturales (gradiente térmica) o inducida por medios mecánicos. (Guizábalo, 2017)

#### **✓ Flujos compresibles**

La compresibilidad de un flujo es básicamente una medida en el cambio de la densidad. Los gases son en general muy compresibles, en cambio, la mayoría de los líquidos tienen una compresibilidad muy baja. Por ejemplo, una presión de 500 kPa provoca un cambio de densidad en el agua de solamente 0,024% (a temperatura ambiente). En cambio, esta misma presión aplicada al aire provoca un cambio de densidad de 250%.

#### **✓ Flujos incompresibles**

La incompresibilidad es una aproximación y se dice que el flujo es incompresible si la densidad permanece aproximadamente constante a lo largo de todo el flujo. Por lo tanto, el volumen de todas las porciones del fluido permanece inalterado sobre el curso de su movimiento cuando el flujo o el fluido es incompresible. En esencia, las densidades de

los líquidos son constantes y así el de ellos es típicamente incompresible. (Guizábalo, 2017)

Los caudales se calculan a partir de la velocidad promedio que se mide normalmente con un anemómetro digital o una paleta y el área transversal de la galería. La ecuación utilizada es la siguiente:

$$Q = V * A$$

Donde:

Q = Caudal (m<sup>3</sup>/min o cfm)

V = Velocidad promedio (m/min)

A = Área de la sección transversal (m<sup>2</sup>)

#### **b. Resistencia aerodinámica**

Se considera resistencia a cualquier obstáculo o superficie que impida que el aire pueda fluir libremente por las galerías de una mina.

$$R = \frac{k * O (Lf + Le)}{A^3}$$

Donde:

R = Resistencia (Ns<sup>2</sup>/m<sup>8</sup> o kg/m<sup>7</sup>)

O = Perímetro (m)

A = Área de la sección transversal (m<sup>2</sup>)

K = Coeficiente de resistencia aerodinámica (Kg/m<sup>3</sup>)

Lf = Longitud física o real (m)

Le = Longitud equivalente (m)

### c. Caída de presión

La diferencia de presión de aire genera el movimiento de volumen de aire en un circuito.

$$H=R*Q^2$$

H= Caída de presión

R= Resistencia de las paredes

Q<sup>2</sup>= Caudal al cuadrado

$$H = \frac{k * O (Lf + Le) * V^2}{A}$$

H=Caída de presión (Pa o N/m<sup>2</sup>)

R = Resistencia (Ns<sup>2</sup>/m<sup>8</sup> o kg/m<sup>7</sup>)

O = Perímetro (m)

A = Área de la sección transversal (m<sup>2</sup>)

K = Coeficiente de resistencia aerodinámica (Kg/m<sup>3</sup>)

Lf = Longitud física o real (m)

Le = Longitud equivalente (m)

V = Velocidad del flujo (m/s)

### d. Ventiladores

Un ventilador es una máquina de fluido, más exactamente una turbomáquina que transmite energía para generar la presión necesaria con la que se mantiene un flujo continuo de aire. Se utiliza para usos muy diversos como: ventilación de ambientes, refrescamiento de máquinas u objetos o para mover gases, principalmente el aire, por una red de conductos.

### **1.3.3 Sistemas de ventilación**

#### **a. Sistema impelente**

El aire es impulsado dentro del ducto y sale por la galería en desarrollo ya viciado.

Para galerías horizontales de poca longitud y sección (menores a 400 metros y de 3.0 x 3.0 metros de sección), lo conveniente es usar un sistema impelente de mediana o baja capacidad, dependiendo del equipo a utilizar en el desarrollo y de la localización de la alimentación y evacuación de aire del circuito general de ventilación de la zona.

(Guizábalo, 2017)

#### **b. Sistema aspirante**

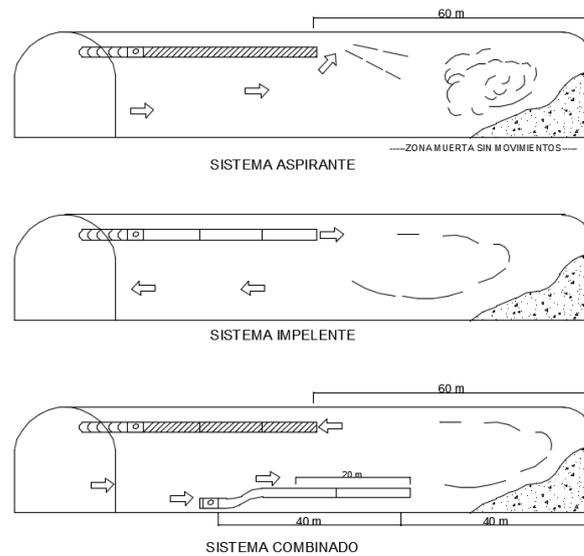
El aire fresco ingresa al frente por la galería y el contaminado es extraído por ventiladores. Para ventilar desarrollos de túneles desde la superficie, es el sistema aspirante el preferido para su ventilación, aun cuando se requieren elementos auxiliares para remover el aire de la zona muerta, comprendida entre el frente y extremo del ducto de aspiración. (Guizábalo, 2017)

#### **c. Sistema combinado impelente-aspirante**

Que emplea dos tendidos de ductos, una para extraer aire viciado y el segundo para impulsar aire limpio al frente en avance. Este sistema reúne las ventajas de los dos tipos básicos, en cuanto a mantener la galería y el frente en desarrollo con una renovación constante de aire limpio y en la velocidad de la extracción de los gases de disparos, con la desventaja de su mayor costo de instalación y manutención.

Hoy día, es la ventilación impelente la que más se usa, ya que el ducto es una manga totalmente flexible, fácil de trasladar, colocar y sacar. En este caso, el ventilador al soplar infla la manga y mueve el aire. En el caso de la ventilación aspirante, estas mangas deben tener un anillado en espiral rígido lo que las hace muy caras.

(Guizábalo, 2017)



*Figura N° 1 Sistemas de ventilación*

**Fuente:** Internet

#### 1.3.4 Requerimiento de aire

La cantidad de aire en el interior de las labores mineras, se llegará a definir de acuerdo al número de personas, número de equipos, polvo en suspensión, incremento de temperatura y consumo de explosivos además de conocer el método de explotación, para definir la cantidad total de aire que se requiere se manejan los siguientes parámetros operacionales. Según (D.S.N° 024-2016-EM y su modificatoria el D.S. 023-2017 EM), el requerimiento de aire necesario en los lugares de trabajo será de acuerdo:

##### **a. Requerimiento de aire de acuerdo al número de personas**

La cantidad mínima de aire a cumplir con respecto al personal es proporcionar 4 m<sup>3</sup>/min, por cada persona, debido a la corrección por altitud de 2250 m.s.n.m., a la que se encuentra la mina.

$$Q_1 = q \times n$$

Donde:

Q<sub>1</sub> = Cantidad de aire necesario para el personal (m<sup>3</sup>/min.)

q = Cantidad de aire mínimo por persona en m<sup>3</sup>/min (R.S.S.O)

n = Número de personas presente en la mina por guardia.

#### **b. Requerimiento de acuerdo al uso de equipos diésel**

$$Q2 = K * N$$

Q2 = Cantidad de aire para el uso de equipos diésel (m<sup>3</sup>/min.)

K = 3.0 (m<sup>3</sup>/min.) cantidad de aire necesario por cada HP

N = Número de HP de los equipos que trabajan en la mina

#### **c. Requerimiento de acuerdo al uso de explosivos**

$$Q3 = V * n * A$$

Q3 = Cantidad de aire para diluir contaminantes por explosivo

V = Velocidad de aire 20 m/min (Dinamita), 25 m/min. (ANFO)

n = Número de niveles de la mina en trabajo

A = Área promedio de la sección de las labores, niveles en trabajo (m<sup>2</sup>)

#### **d. Requerimiento para mantener óptimas condiciones ambientales**

$$Q4 = V. n. A$$

Q4 = Cantidad de aire para mantener condiciones ambientales ideales (m<sup>3</sup>/min.)

V = Velocidad de aire

n = Número de niveles en trabajo, con temperaturas elevadas

A = Área promedio de la sección de la labor (m<sup>2</sup>)

#### **e. Cálculo de cantidad total del aire**

$$Q_T = Q1 + Q2 + Q3 + Q4$$

### **1.3.5. Ley básica de la ventilación de minas**

Las leyes del estado del flujo de aire indican que por una cantidad de aire que circule entre dos puntos, debe de existir una diferencia de presión entre estos puntos. La relación entre la diferencia de presión (P) y la cantidad de flujo (Q).

Si no existe una diferencia de presión no existe una cantidad de flujo, es decir si:

$P = 0$ ,  $Q = 0$ , mientras mayor sea  $P$ , mayor será  $Q$ , en el caso de aquel aire de mina que circula subterráneamente en donde el patrón del flujo es turbulento (es decir, como un río que fluye en los rápidos), la relación entre las dos cantidades puede expresarse en la ley cuadrática: (Guevara, 2018)

$$P = RQ^2$$

P: Pérdida de presión (Pa)

R: Resistencia ( $Ns^2/m^8$ )

Q: Flujo de volumen ( $m^3/s$ )

El término R de la ecuación se denomina como la resistencia del conducto de ventilación o el ducto al cual se aplica.

Si es necesario duplicar el volumen del aire que circula a través del ducto o del conducto de ventilación, la presión requerida no es el doble de la presión original sino el cuádruple, es decir  $2^2$  x la presión original. (Sutty, 2016)

### 1.3.6 Factores de la ventilación

#### a. VOLUMEN DE AIRE (Q)

Se refiere a la cantidad de aire que viaja por una labor, está dada por la ecuación:

$$Q = A \times V$$

Dónde:

A: Área de la sección transversal de la labor o ducto ( $m^2$ ).

V: Velocidad de aire que atraviesa dicha sección ( $m/min$ ).

#### b. VELOCIDAD (V)

Es el avance del aire por unidad de tiempo de un punto a otro. Es el factor más importante que debe considerarse y determinarse en el terreno.

#### c. ÁREA DE GALERIAS Y SUS PERÍMETROS

Para medir el perímetro y el área de las estaciones establecidas o de las que se movieron usamos la wincha metálica con la que se precisa los lados de las áreas geométricas y usamos fórmulas para calcular el área respectiva.

#### d. DISTRIBUCIÓN DEL VOLUMEN DE AIRE

Para la distribución regulada de los volúmenes de aire dentro de la mina se inicia desde el lugar más aislado sucesivamente hacia la galería de ingreso de aire a fin de que la distribución sea calculada y balanceada en forma sucesiva, luego se determinará la resistencia de cada ramal en que ya fueron establecidos los controles o reguladores de acuerdo a los volúmenes que las operaciones exigieron.

#### e. PRESIÓN

Es la fuerza que se requiere para mover un peso de aire y vencer la presión estática (SP) y la presión de la velocidad (VP).

#### f. FACTOR DE FRICCIÓN (K)

Es la aspereza propia de cada tipo de roca o conducto el cual lo obtenemos de tablas. La fricción causa una transformación de la energía de trabajo a energía de calor. Mientras más áspera sea la superficie, mayor será la turbulencia y por lo tanto, mayor la fricción y pérdida de presión.

#### 1.3.7 Presiones de una mina

Caxi (2017) Para determinar la magnitud de la presión artificial es necesario sumar algebraicamente las presiones componentes de los elementos de un circuito y balancear las mismas para todos los circuitos de una red de ventilación. Esta presión se denomina generalmente presión total de la mina y se representa:

$$P_t (\text{mina}) = P_s (\text{mina}) + P_v (\text{mina})$$

#### a. Presión estática

La presión estática es la presión ejercida por el aire en las paredes del ducto, la cual tiende a forzarlas y expandirse. Es la cantidad total de energía necesaria para vencer las pérdidas de presión de un ducto:

$$P_s = P_p = P_f + P_x$$

b. Presión de velocidad

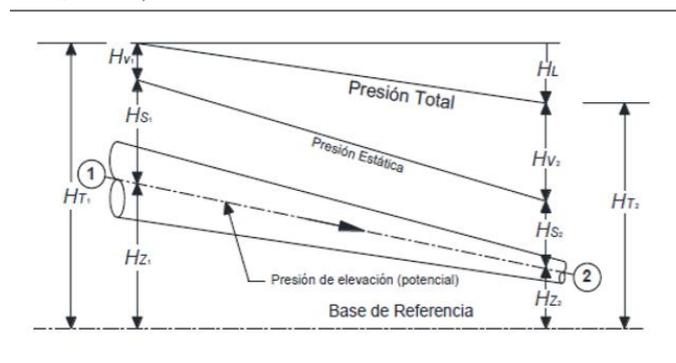
La presión de velocidad se define como la presión resultante del movimiento del aire. Mientras más rápido se mueve el aire, o mientras mayor sea la velocidad del aire, mayor será la presión de la velocidad del aire y viceversa. Es la cantidad de energía necesaria para vencer las pérdidas por cambio en el diámetro del ducto expresada en términos de velocidad del aire en la descarga:

$$P_v = V^2 / 2g$$

c. Pérdida de presión por fricción.

En ventilación de minas la pérdida de presión por fricción representa del 70 % al 90 % de la presión total de la mina, consiguientemente será muy útil determinar con la suficiente precisión utilizando los coeficientes apropiados. (Ver Figura N° 02).

(Guevara, 2018)



*Figura N° 02 pérdida de presión por fricción*

**Fuente :** Guevara (2016)

d. Fórmula de atkinson

El valor de la resistencia (R) depende de ciertas características del conducto de ventilación o del ducto; por ejemplo, si uno de los conductos de aire cuenta con un

área pequeña y otra grande todos los factores son constantes, el aire circula con mayor facilidad a través del segundo conducto de ventilación. En otras palabras, mientras el conducto de ventilación sea de mayor tamaño, más baja será la resistencia (R) del conducto.

Si en un conducto el aire debe friccionar contra un área o superficie de mayor tamaño, la resistencia será menor en el conducto con la superficie de fricción de mayor tamaño. La superficie de fricción se calcula multiplicando la circunferencia por la longitud.

Finalmente, si las paredes de un conducto son lisas y las del otro son ásperas y el resto de los factores son iguales, la resistencia del conducto liso será menor que la del conducto áspero, es decir, el factor de fricción depende de la naturaleza de la superficie del conducto de ventilación.

La fórmula de Atkinson considera estos factores y expresa:

$$P = \frac{KCLQ^2}{A^3} \times \frac{w}{1.2}$$

$$P = \frac{KCLV^2}{A} \times \frac{w}{1.2}$$

P= Pérdida de presión (Pa).

C = Perímetro (m).

L = Longitud (m).

A = Área (m<sup>2</sup>).

Q = Flujo de cantidad (m<sup>3</sup>/s).

V = Velocidad (m/s).

K = factor de fricción (Ns<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>).

w = Densidad del aire (kg/m<sup>3</sup>).

Cualquiera de las ecuaciones es correcta puesto que:

$$V = \frac{Q}{A} \quad Y \quad V = \frac{Q^2}{A^2}$$

El término  $w/1.2$  está incluido en la fórmula Atkinson para expresar que los requisitos de presión dependen de la densidad del aire.

Obviamente, se requerirá de mayor presión para hacer circular aire más pesado (de mayor densidad) a través del sistema. De hecho, los requisitos de presión son directamente proporcionales con la densidad del aire ( $p \propto w$ ). (Guevara, 2018)

#### **1.4 Formulación del problema**

¿En qué medida influye el sistema de ventilación para mejorar las condiciones de la rampa Patrick - profundización entre los niveles 2,470 al 2,240 en una mina subterránea – Pataz - la libertad 2018

#### **Objetivo**

##### **1.4.1. Objetivo general**

- La influencia para mejorar el sistema de ventilación en la rampa Patrick – profundización entre los niveles 2,470 al 2,240 en una mina subterránea en Pataz.

##### **1.4.2. Objetivo específicos**

- Evaluar la situación actual del sistema de ventilación de la rampa Patrick - profundización
- Diseñar un sistema e infraestructura de ventilación necesaria para su ejecución a corto, mediano y largo plazo, según el crecimiento y profundización de la mina.
- Determinar las necesidades de aire actuales y futuras (1, 3 y 5 años) para la caracterización efectiva del sistema de ventilación actual y proyectada.
- Proponer el sistema de ventilación de la rampa Patrick – profundización

## **1.5. Hipótesis**

### **1.5.1. Hipótesis general**

La implementación del sistema de ventilación influirá significativamente en la mejora de las condiciones en la RP Patrick – profundización entre los niveles 2,470 y 2,240

### **1.5.2. Hipótesis específicas**

- La efectividad del trabajador después de la implementación del sistema de ventilación entre los niveles 2470 y 2240, es favorable.
- No existe recirculación de aire viciado después de la instalación del sistema de ventilación en los ambientes de trabajo en dichos niveles.

## CAPÍTULO 2.

## METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

### 2.1. Ámbito de estudio

DISTRITO : Parcoy

PROVINCIA : Pataz

REGIÓN : La Libertad

### 2.2. Tipo de investigación

Pertenece al tipo básico experimental.

### 2.3. Nivel de investigación

El nivel de investigación es descriptivo.

### 2.4. Método de la investigación

#### 2.4.1. Método general

El método de investigación es descriptivo porque se determinó las características de los fenómenos observados en la realidad con detalles, también se utilizó para el estudio los métodos inductivo y deductivo para sistematizar el marco teórico del presente estudio

#### 2.4.2. Método específico

Es experimental según (Agüero, 2012) el método experimental es un proceso lógico, sistemático que corresponde a una incógnita ¿Si esto es dado bajo condiciones cuidadosamente controladas, que sucederá?

### 2.5. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es cuasi experimental para determinar la efectividad de la ventilación en la mejora de las labores mineras de la profundización, cuyo diseño es el siguiente.

Donde:

GE: Grupo experimental

01: Pre test

02: Post test

X: Manipulación de la variable independiente

## **2.6. Población y muestra**

### **2.6.1. Población**

La población está constituida por todas las labores de la mina subterránea.

### **2.6.2. Muestra**

La muestra está conformada por la RP Patrick – profundización entre los niveles 2,470 y 2,240 en una mina subterránea en Pataz.

## **2.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

### **2.7.1. Técnicas**

Las técnicas utilizadas en el estudio fueron:

- La observación directa relacionada con cada una de las variables investigadas.
- Equipos de medición para evaluar las temperaturas y velocidades dentro de mina.
- Equipo Dräger Xam-5600 para determinar la concentración de gases de acuerdo al cuadro de los límites máximo y mínimos permisibles.

### **2.7.2. Instrumentos**

Los instrumentos de monitoreo fueron; termoanemómetro kestrel, testo para determinar las velocidades y temperaturas.

El equipo detector de gases Dräger Xam-5600 nos brindaba información sobre CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, NS<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub>.

## **2.8. Procedimiento de recolección de datos**

Los datos recolectados que se han obtenido del campo tomándose muestras en diferentes puntos a lo largo de los 23 niveles en operación.

## **2.9. Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

Se utilizó diferentes programas de la minería para determinar los siguientes cálculos:

- Software aplicativo
- Hojas de cálculo
- Base de datos
- Graficadores: autocad, ventsim, excell, etc

### **CAPÍTULO 3. PLANTEAMIENTO DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN**

Los autores realizaron un análisis integral del sistema de ventilación de la presente mina subterránea, con el objetivo de asegurar el volumen de aire necesario para los diferentes procesos de minado (exploración, desarrollo y explotación) en cumplimiento de las normas de la empresa y de acuerdo al Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería Decreto Supremo N° 024-2016-EM (y su modificatoria DS N° 023-2017 EM).

El presente análisis refiere a la fase final del estudio que comprende la influencia en el sistema de ventilación proyectada para tres etapas denominadas: 01, 03 y 05 años. Definiéndose los ejes principales del circuito de ventilación, tanto de entrada como de salida de aire.

El levantamiento de ventilación contempla el mapeo de los flujos de aire de 23 niveles operativos correspondientes al mes de febrero del 2018, ubicándose en total 433 estaciones de ventilación.

La base legal del presente estudio es el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería Decreto Supremo N° 024-2016-EM (y su modificatoria DS N° 023-2017 EM), según el art. 246 inciso b); tomando como base el requerimiento de aire para 847 personas, entre personal de compañía y las empresas especializadas (contratas) y para el abastecimiento de los equipos diésel que conforman la producción, el transporte y los servicios; calculado para una potencia desarrollada total de 5,223 HP (FA=0.84) sustentado por el “estudio del efecto de altitud sobre motores de combustión interna”

Se han considerado 23 niveles operativos, cuya velocidad mínima exigible deberá ser de 20 m/min (uso de dinamita) y la velocidad máxima de 250 m/min (donde se encuentre personal trabajando).

Se ha caracterizado 4 ventiladores principales y 77 ventiladores auxiliares. Registrándose en total 81 ventiladores.

El balance de ventilación registrado en el mes de febrero del año 2,018 fue de 450,032 cfm (ingreso de aire) y cuyo requerimiento de caudal fue de 674,776 cfm, teniendo una cobertura de 67% (déficit de aire 224,745 cfm)

El sistema de ventilación al término del estudio está representado por un modelo mecanizado (forzado) por 4 ventiladores principales del tipo eléctrico axial, de alabes variables, que representan un total de 480,000 cfm

La mayor demanda de aire lo representa el volumen necesario para la combustión de los motores diésel, representado por un volumen de 553,363 cfm (en base a 39 equipos) y en porcentaje equivalente al 82% del total (del requerimiento del aire), y para el requerimiento de aire para el personal fue de 119,646 cfm representando el 18% del volumen total.

Es necesario, en las condiciones actuales optimizar el uso de equipos diésel, reajustándose a un volumen de 328,618 cfm, equivalente a 3 102 HP (requerimiento actual 5,223 HP) En base a los descrito se plantearon propuesta para cubrir las necesidades para el personal y los equipos diésel. El proyecto materia del presente estudio plantea la ejecución del sistema de ventilación integral en tres etapas:

- ✓ Etapa a 1 año : corto plazo
- ✓ Etapa a 3 años: mediano plazo
- ✓ Etapa a 5 años: Largo plazo

ITEM	Descripción	U/M	Actual	1 año	2 año	3 años	4 años	5 años	total
			Feb-18	Feb-19	Feb-20	Feb-21	Feb-22	Feb-23	
1	<b>Costo capital por año</b>	US\$/año	0	3'328,726	1'799,970	1'971,967	1'592,512	1'777,431	10'470,606
	<b>CAPEX porcentual</b>	%		32%	17%	19%	15%	17%	100%
2	<b>Costo de operación (OPEX)</b>								
	Consumo de energía modelo ventsim	US\$	466,155	980,290	980,673	981,055	962,265	943,474	5'313,911
	Mano de obra 15 personas	US\$	59,183	124,458	124,506	124,555	122,169	119,784	674,655
	Materiales/herramientas/otros	US\$	15,495	21,901	21,318	20,734	20,442	26,977	126,868
	<b>OPEX anual</b>	US\$/año	540,833	1'126,649	1'126,497	1'126,344	1'104,876	1'090,235	6'115,434
	<b>OPEX porcentual</b>	%	9%						100%
<b>COSTO TOTAL CAPEX + OPEX</b>									<b>16'586,039</b>

Tabla 2 Capex y Opex por años

Los puntos de medición de las estaciones principales han sido tomados en las bocaminas y chimeneas donde ingresa o sale el aire a superficie, en una distribución simétrica, cuya data se ha llevado al registro.

### 3.1. Ingresos y salidas de aire – Levantamiento de campo

Estación	UBICACIÓN	UBICACIÓN	CAUDAL	
	NIVEL		m3/min	cfm
E-1	3,175	BM PATRICK 1	7,398	261,261
E-2	3,175	BM PATRICK PARALELA	2,809	99,189
E-8	3,410	RB 3 POMACHAY	605	21,375
E-7	3,220	BM CHILCAS	1,456	51,421
E-9	3,410	CHS NV SUPERIORES	475	16,786
			<b>12743</b>	<b>450,032</b>

Tabla 3 Caudales de ingreso de aire fresco



Gráfico 1 Caudales de ingreso de aire

Estación	UBICACIÓN		CAUDAL		Ventilador influente	
	NIVEL	UBICACIÓN	m3/min	cfm	Q nominal	Cod. Vent.
E-3	SUPERFICIE	RB 11 CURVA 13	3,476	122,753	110,000	V 86
E-4	2950	XC FAR WEST	3,293	116,291	110,000	V 78
E-5	SUPERFICIE	RB 12 CURVA 15	4,121	145,536	150,000	V 88
E-6	3410	BM SAN VICENTE	3,113	109,925	110,000	V 73
			<b>14,003</b>	<b>494,505</b>	<b>480,000</b>	

Tabla 4 Caudales salida de aire viciado

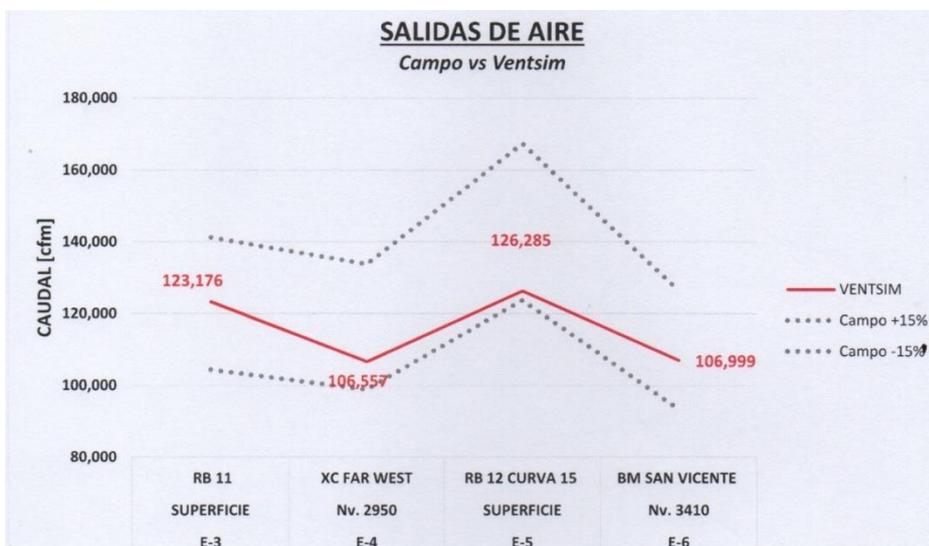


Gráfico 2 Caudales de salida de aire

Existe una diferencia entre el balance de los flujos de entrada y salida de aire, ello se debe al incremento de volumen debido a la influencia de la temperatura (grado geotérmico de la roca y la humedad del ambiente) que experimenta el aire de retorno.

### 3.2. Requerimiento de aire para personal

PLANILLA	EMPRESA	TOTAL/Gdía	CAUDAL		%
			m3/min	Cfm	
CIA y EE	ALFA	98	392	13,843	11.1%
	COMILUZ	150	600	21,189	17.5%
	TAURO	106	424	14,974	12.3%
	LOS ANDES	115	460	16,245	13.3%
	MINCOTRALL	88	352	12,431	10.2%
	CANCER	80	320	11,301	9.3%
	GEOLOGÍA MINERA	50	200	8,829	7.3%
	TRANSPORTE	5	20	706	0.7%
	SKANSKA	40	160	5,650	4.7%
	COMPAÑÍA	20	80	2,825	2.3%
	HIGH POWER	3	12	424	0.3%
	R/H	35	140	4,944	4.1%
	CONSEM	10	40	1,413	1.2%
	SUBTERRÁNEA	4	16	565	0.5%
	CONINSA	12	48	1,695	1.4%
GEOTECNIA	9	36	1,271	1.0%	
<b>Sub – total</b>		<b>827</b>	<b>3,308</b>	<b>116,825</b>	<b>97%</b>
<b>FLOTANTES 3%</b>		<b>24</b>	<b>96</b>	<b>3,390</b>	<b>3%</b>
<b>TOTAL</b>		<b>851</b>	<b>3,404</b>	<b>121,413</b>	<b>100%</b>

Tabla 5 Requerimiento de aire para personal – abril 2018

### 3.3. Requerimiento de aire para equipos Diésel

Según el decreto supremo N° 024 – 2016 – EM (y su modificatoria DS. N° 023 – 2017 – EM) en el título cuarto, capítulo I, sub capítulo VIII, art. 252, inciso e) de emplearse equipos diésel, la cantidad de aire circundante no será menor a **tres (3) m3/min por cada HP que desarrollen los equipos.** Ver a continuación tabla N° 6.

EQUIPOS	CANT.	POT. NOM. HP	F.A. (Ni/Nio)	POT. EFECT. HP	CAUDAL REQ. (m3/min)	CAUDAL REQ. (CFM)
Volquetes	4	480	0.84	1,613	4,838	170,868
Grúas	2	120	0.84	202	605	21,359
Camioncitos	7	140	0.84	823	2,470	87,214
Camionetas	10	138	0.84	1,159	3,478	122,811
Scooptram de 6 yd3	1	270	0.84	227	680	24,028

Scooptram de 4 yd3	1	190	0.84	160	479	16,909
Telehandler	1	100	0.84	84	252	8,899
Microscooptram de 0.75 yd3	3	44	0.84	111	333	11,747
Scooptram de 2.2 yd3	4	96	0.84	323	968	34,174
Minicat	1	74	0.84	62	186	6,586
Mixer mixkret #03	1	174	0.84	146	438	15,485
Transmixer	1	75	0.84	63	189	6,675
Lanzador de concreto	1	75	0.84	63	189	6,675
Jumbo boomer SID	1	74	0.84	62	186	6,586
Bus línea	1	150	0.84	126	378	13,349
<b>TOTALES</b>	<b>39</b>	<b>2200</b>		<b>5,224</b>	<b>15,669</b>	<b>553,363</b>

Tabla 6 Requerimientos de aire para equipos diésel – abril 2018

### 3.4. Requerimiento de aire global

A partir de los caudales requeridos para personal y equipos diésel, se estima el requerimiento global de aire:

Caudal	m3/s	m3/min	Cfm	% Dist.
Q1=PERSONA	56	3,388	119,646	18
Q2=Equipos diésel	261	15,669	553,363	82
Total	318	19,107	674,776	100

Tabla 7 Requerimiento global

El requerimiento del caudal para la dilución de gases de voladura, no se considera en el cálculo porque el personal y los equipos diésel dejan de operar en la mina durante la evacuación de los gases. En resumen, la cobertura global del sistema de ventilación se muestra en la tabla 8.

Cobertura de aire	m3/s	m3/min	cfm
Qi: Caudal de ingreso	212.4	12,743	450,032
Qs: Caudal de salida	2,333.4	14,003	494,505
Balance (Qs – Qi)	21.0	1,259	44,474
Qr: Caudal requerido	318.5	19,107	674,776
Cobertura	67%		
Deficit	33%		
	224,745 cfm		

Tabla 8 Resumen cobertura de aire – abril 2018

## Ventiladores principales

Los ventiladores principales fueron medidos en campo, sus parámetros eléctricos (voltaje, amperaje y factor de potencia) así como la presión total, el caudal y la potencia de motor.

### Inventario de ventiladores principales

Los datos fueron procesados para determinar la potencia real de cada uno de ellos y los valores se muestran en la siguiente tabla.

Ítem	Código ventilac.	Labor	Nivel	Nominal a cota de trabajo			Simulada			Costo US\$/año
				Caudal campo cfm	Pot. Nom. BHP	Pot. Nom. Kw	Caudal modelo cfm	Pot. Real HP	Pot. Real Kw	
1	V 88	RB 12	2,950	150,000	349	260	148,341	394	294	154,579
2	V 86	RB 11	2,950	110,000	228	170	124,022	264	197	103,596
3	V 78	XC FAR WEST	2,950	110,000	228	170	108,023	263	197	103,280
4	V 73	XC 9855 NW	3,410	110,000	231	172	110,826	267	197	104,700
<b>TOTAL</b>				<b>480,000</b>	<b>1,036</b>	<b>773</b>	<b>491,212</b>	<b>1,189</b>	<b>887</b>	<b>466,155</b>

Tabla 9 Inventario de ventiladores principales

Condiciones básicas para el buen funcionamiento de los ventiladores:

- Programa de mantenimiento del equipo, para evitar la acumulación de polvo, hollín de diésel, que se deposita en los elementos del sistema impulsor, las propiedades aerodinámicas de los alabes del ventilador se ven comprometidas y a la postre el colapso del ventilador.
- Considerar los elementos y accesorios de fábrica (campana de admisión, campana difusora, rueda directriz, malla de seguridad en la admisión).
- Disposición de los sensores de vibración, zona de alta presión (bombeo). Sensor de humedad. Los cojines del motor sufren prematuramente su deterioro, esto se debe fundamentalmente a la acumulación del desmonte, equipos estacionados en los ductos de ventilación, es decir en los tramos del ingreso y salida de aire.

- Falta de estándares de ventilación (hermetizado del equipo se presenta recirculación de aire), puertas de ventilación en mal estado que no consideran el sistema rompe presión, ocasionando el incremento brusco de la presión del sistema.

### 3.5. Simulación en software – condición actual

Se realizaron las mediciones de calor en la RP Patrick, desde la bocamina hacia el tope de la rampa Patrick III, además de las mediciones de la temperatura en la roca (tajeos y labores horizontales) más accesibles, determinándose la gradiente geotérmica de 2.7 °C por cada 100 m en la profundización para proyectar el incremento de calor según la profundización de la rampa.

Se ha tomado énfasis en la presencia del calor en los niveles inferiores de la mina, a partir del NV 2770, donde se observa el incremento notorio de la temperatura de 26 °C a 31°C. El estudio enfoca las deficiencias de aire y temperaturas elevadas, resuelve los circuitos de ventilación para extraer el aire viciado y cumplir con las velocidades requeridas por la norma vigente, además se plantea la alternativa viable conciliada por las áreas de operación y planeamiento

### 3.6. Revisión de los parámetros de operación

- Cota de operación : 3,200 m.s.n.m. (promedio)
- Método de explotación : Corte y relleno ascendentes y tajeos largos.
- Perforación : Convencional y mecanizado.
- Número de guardias : 2
- Horario de trabajo:
  - ✓ Turno día : 11:30 am a 8:51 pm
  - ✓ Turno noche : 11:30 pm a 8:00 am
- Horario de disparo:
  - ✓ Turno día : 8:30 pm
  - ✓ Turno noche : 7:45 am

- Número de personas : 847 hombres/guardia.
- Número de equipos diésel : 39
- Potencia efectiva desarrollada – equipos diésel: 5,223 HP.
- Velocidad mínima de aire : 20 m/min
- Velocidad máxima de aire : 250 m/min
- Producción mensual : 48,917 TM

### 3.7. Análisis de temperatura – Rampa Patrick

Se realizaron las mediciones de temperatura a lo largo de la rampa Patrick, sin la presencia o alteraciones de equipos diésel (1° de mayo de 2018), obteniéndose el registro de 40 estaciones medidas

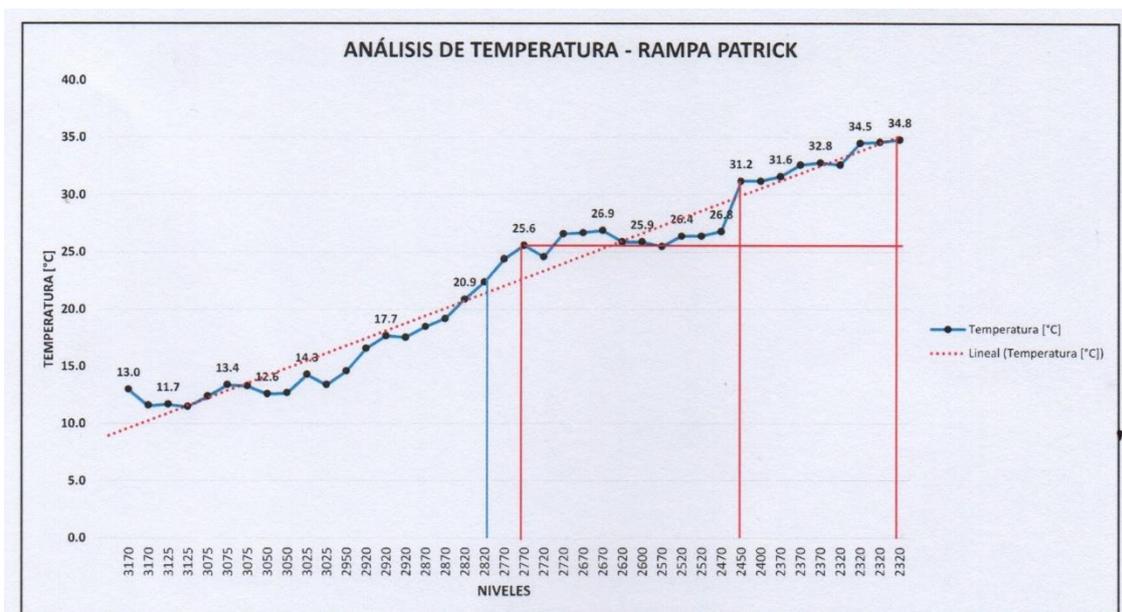


Gráfico 3 Análisis de temperatura RP – Patrick

Se observa un incremento de temperatura a partir del NV 2770 donde se observó el choque del aire fresco que desciende por la rampa Patrick I y el aire viciado (caliente) que asciende de la rampa Patrick III, considerándose un corto circuito alterando las condiciones ambientales. Se experimenta un incremento brusco de temperatura a partir del NV 2450 registrándose 31.2 °C. La temperatura comienza a subir hasta los 34.8 °C en el NV 2320. Es decir, en 130 m en vertical hubo un incremento de 3.6 °C. Se concluye que, en 130 m, el incremento de temperatura registró 3.6°C (en 100 m se incrementa

2.77°C) cuyo valor se encuentra registrado en la configuración de todos los modelos proyectados (sin equipos), cabe destacar que con la presencia de equipos diésel operando, el incremento de temperatura es de +3°C es decir que se podrá experimentar una temperatura de 37.8°C en el NV 2320. Luego del análisis se concluyó que la gradiente geotérmica es de 2.77°C es decir, cada 100 m. aumenta 2.77°C.

### 3.8. Curva característica de la mina

La curva de la mina, nos representa la facilidad o dificultad que tiene un yacimiento subterráneo para ser ventilado. El caudal de ingreso al sistema es el que se considera para los requerimientos solicitados por Decreto supremo 024-2016-EM y su modificatoria el D.S. 023-2017 EM, la presión total determinada por las pérdidas por fricción y choque.

En minas convencionales, esta curva es pronunciada, escalando un rango mayor a las 10 in.w.g. para las minas mecanizadas (trackles) la caída de presión experimenta un valor promedio de 7 in.w.g. (aceptable)

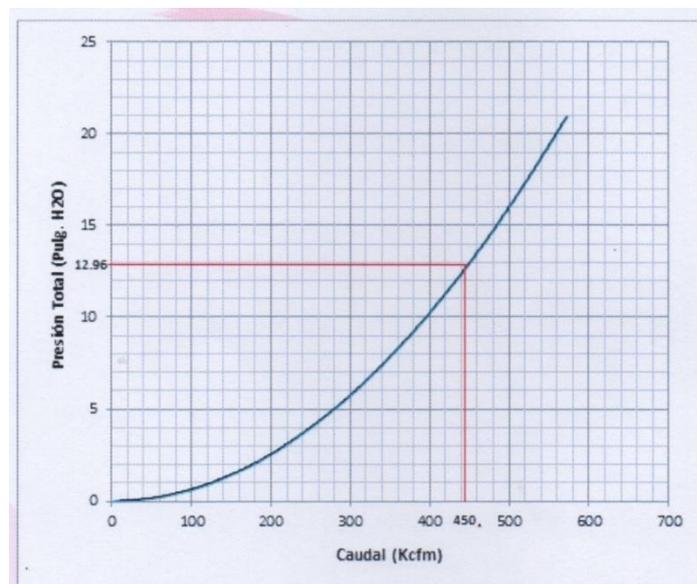


Gráfico 4 Curva característica actual de la mina

### 3.9. INFRAESTRUCTURA DE LOS PROYECTOS A CORTO PLAZO – 1 AÑO

De acuerdo a la evaluación se tiene proyectado la ejecución de labores integrando los circuitos de ventilación generados por la producción de las vetas Cachaco, Cabana R-3, AA y Daniela (estructura principal), con el circuito actual.

Esto con la finalidad de darle un sistema de ventilación flexible bajo un escenario de un incremento considerable de producción en dichas vetas, el sistema posee la facilidad de cubrir la demanda de caudal solicitada de acuerdo al Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería Decreto Supremo N° 024-2016-EM (y su modificatoria DS N° 023-2017 EM). y con la instalación de ventiladores y reguladores se logre la evacuación de flujos viciados de forma efectiva.

#### 3.9.1. Plan de trabajo a 1 año

##### a) Proyecto Rampa C-17 – Admisión

Este proyecto es una admisión adicional al sistema de ventilación actual, considerándose un eje de ingreso de aire fresco, comprende la ejecución de una rampa con salida a superficie con 10% de pendiente positiva, de longitud 475 m de acceso inmediato al pique principal

##### Labor Rampa – C17

Longitud: 475 m.

Sección típica: 4.0 x 4.0 m

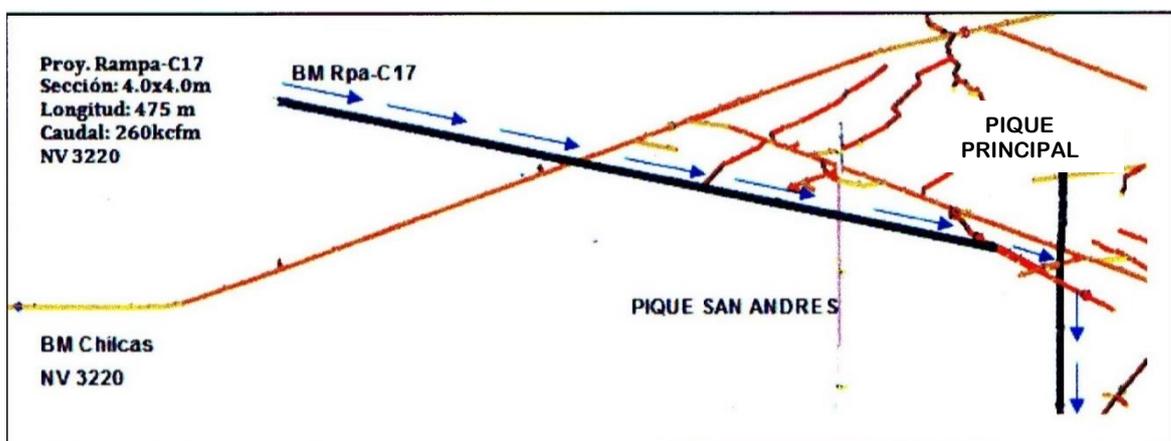


Gráfico 5 Proyecto RP – C 17

## b) Chimenea RC - N7 – Veta Cachaco

Para mejorar las condiciones de ventilación en la veta cachaco se propone profundizar el RB -07 del Nv 2,820, para tal fin se propone desarrollar en el Nv 2,620 el XC-N7 de longitud 273 m, sección 3.0 x 3.0 m y al tope de éste, desarrollar la chimenea RC-N7 de altura 207.5 m y sección 3.0 x 3.0 m para empalmar con el RB-07 cuya finalidad es integrar los niveles de producción 2,620; 2,570 y el S/N 2,600 al XC Far West (circuito de extracción principal)

### Labor XC-N7

Longitud : 273 m  
Sección típica : 3.0 x 3.0 m

### Labor RC-N7

Longitud : 207.5 m  
Sección típica : 3.0 x 3.0 m

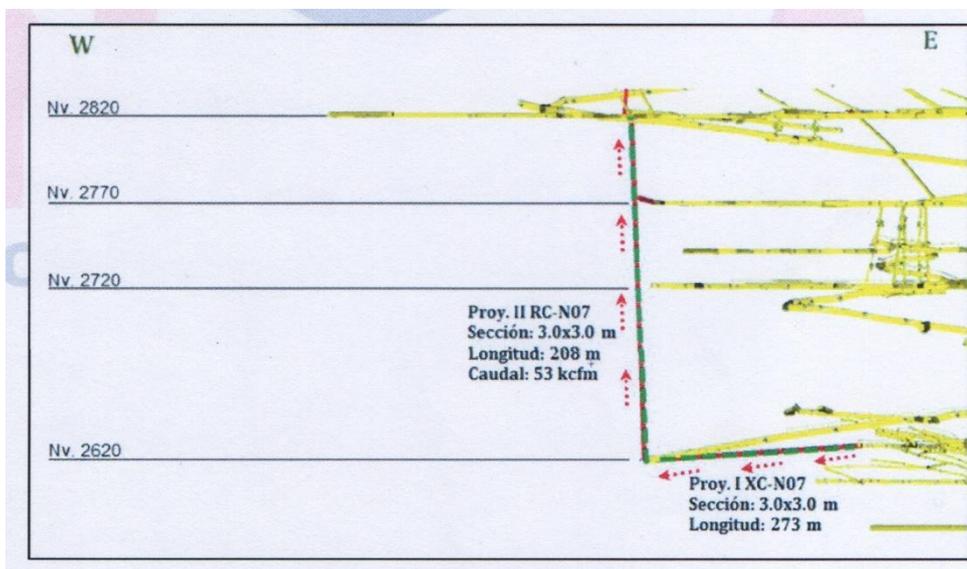


Gráfico 6 Proyecto XC – N07

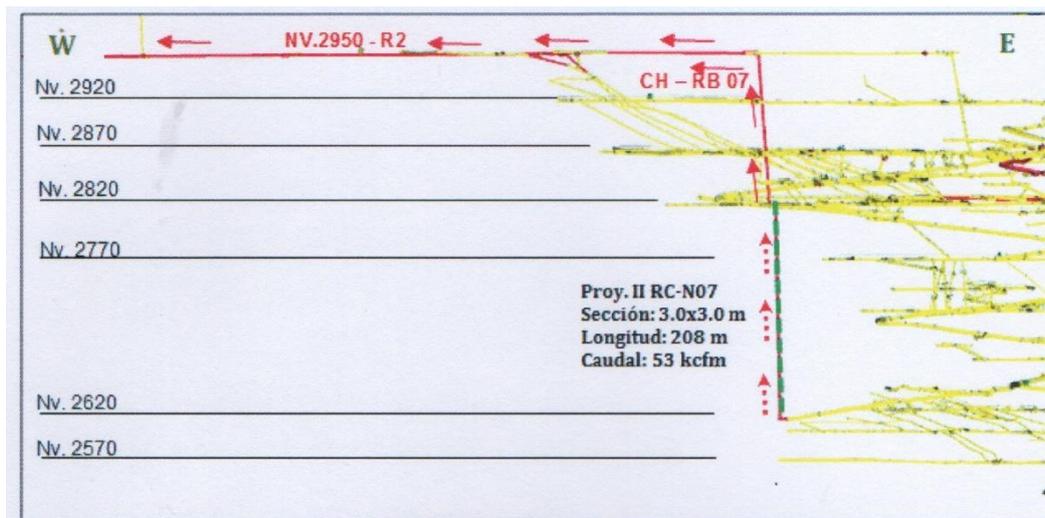


Gráfico 7 Proyecto RC – N07

Debido a la profundización del RB-07 y el incremento de labores a ventilar el ventilador principal V 78 ubicado en Far West experimentaría un incremento en su presión de trabajo, por lo que presenta una alta probabilidad de entrar en una zona de bombeo (stall) como consecuencia sufriría daños prematuros.

Por ello se recomienda adicionar un ventilador de similares características al ventilador V 78 el cual trabajará enseriado con el ventilador existente. Según la simulación del software ventsim visual, bajo este sistema se tendría una presión total de 20.0 in. w.g. con una potencia de 477 Hp, debido a la alta resistencia que posee este circuito, ocasionada principalmente por el reducido tamaño de sección a 2.7 x 3.0 m y la longitud prolongada de 2.7 km este circuito a superficie.

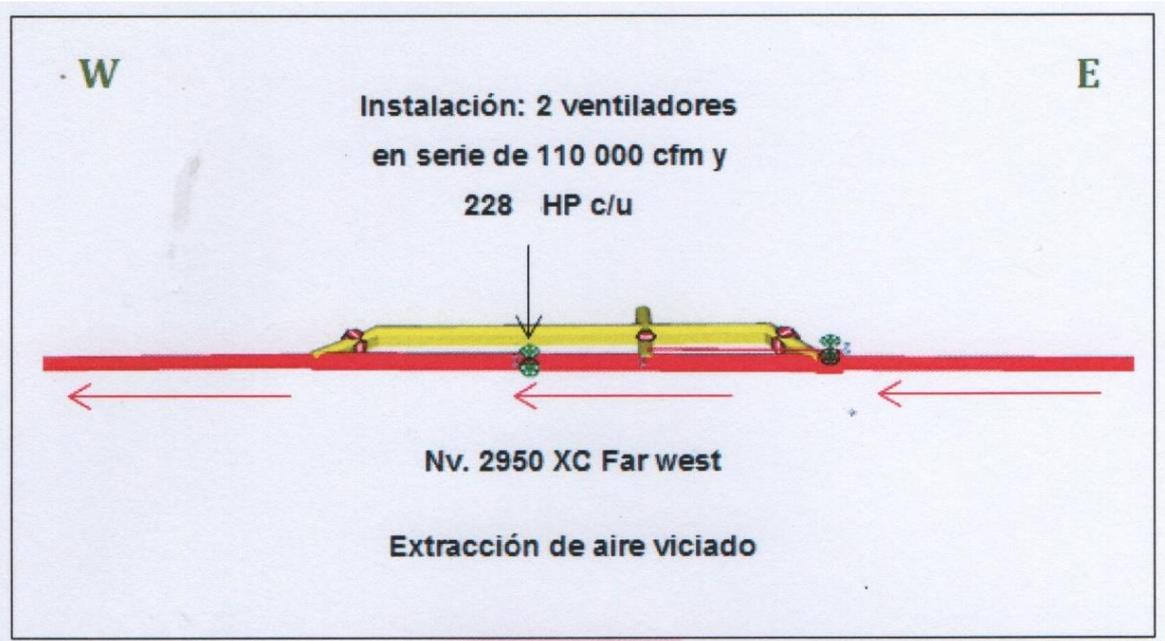


Gráfico 8 Gráfica de los 2 ventiladores propuestos en serie (110,000 cfm c/u)

Este caudal sería captado por el RB-07 y llevado hacia el NV 2,950 donde será trasladado a superficie por los ventiladores instalados en el XC Far West el cual unirá este flujo del RB-07 con el flujo viciado generado por la producción de los niveles 2,920 y 2,870 con una cantidad estimada de 50 kcfm.

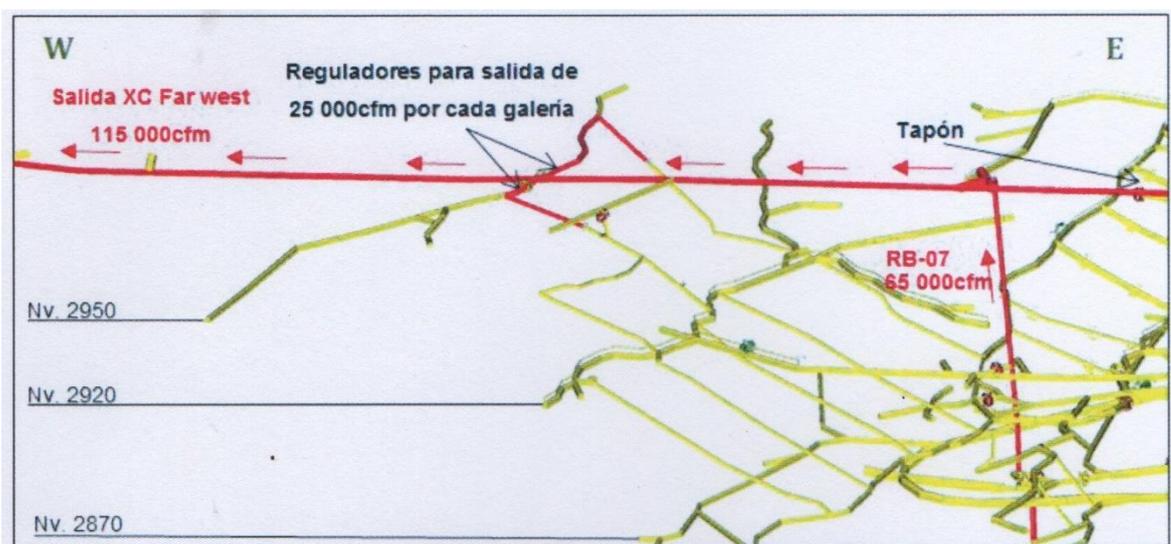


Gráfico 9 Esquema de RB 07

c) **Proyecto RC-N2 - Veta Cabana R3**

Adicionalmente se tiene proyectado un circuito de salida independiente para la producción de la veta Cabana-R3 en la parte Oeste de la mina, desarrollado en un primer tramo la chimenea de conexión entre el Nv 3,125 al Nv 3,175 de codificación RC-N2, de longitud 53 m y sección 2.4 x 2.4 m, para proseguir del Nv 3,125 al Nv 3,220 con una chimenea ya ejecutada a la actualidad denominada RC -09 de sección 2.4 m de diámetro.

**Labor RC-N2**

Longitud : 53m

Sección típica : 2.4 x 2.4 m

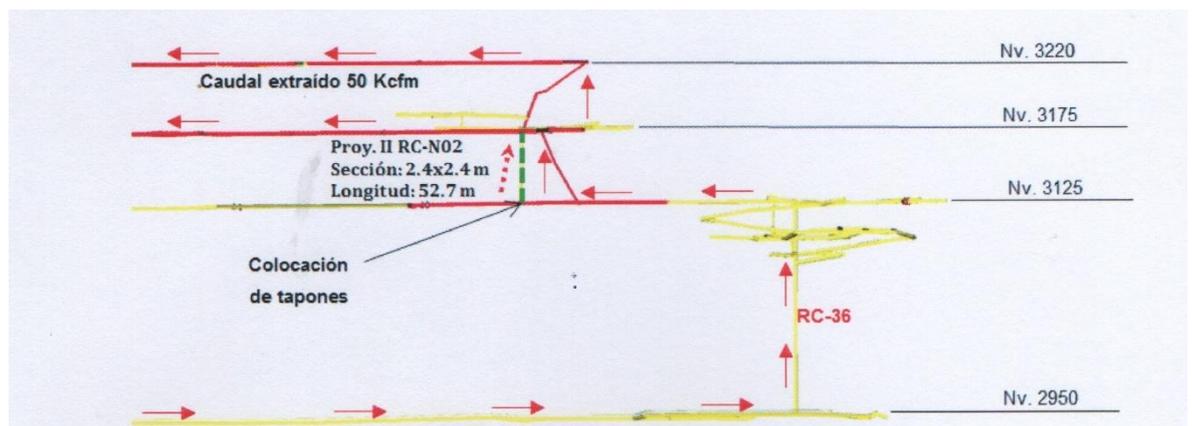


Gráfico 10 Proyecto de chimenea RC -N2

Dicho caudal tendrá que ser direccionado hacia el XC 10524 que se está desarrollando actualmente, el cual será una labor de comunicación hacia superficie, sin embargo, se tendrá que desarrollar anticipadamente un BP-N1, para evitar que este caudal viciado se mezcle con el caudal fresco entrante hacia el pique, es por ello que se está recomendando una labor con puente de 8 m. consistirá de un by pass de 140 m de largo con sección de 3.0 x 3.0 m

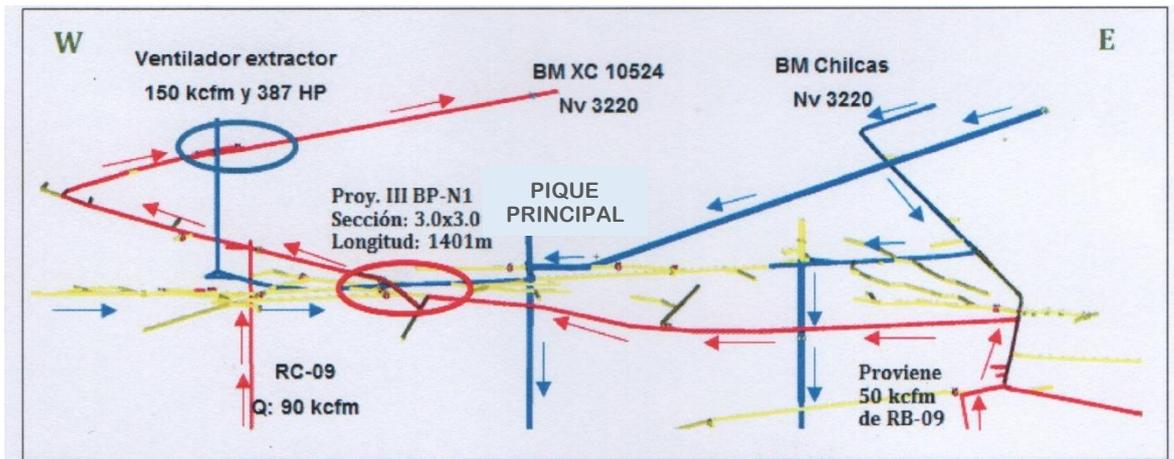


Gráfico 11 Proyecto by pass con sección 3.0 x 3.0 m. en el Nv 3220

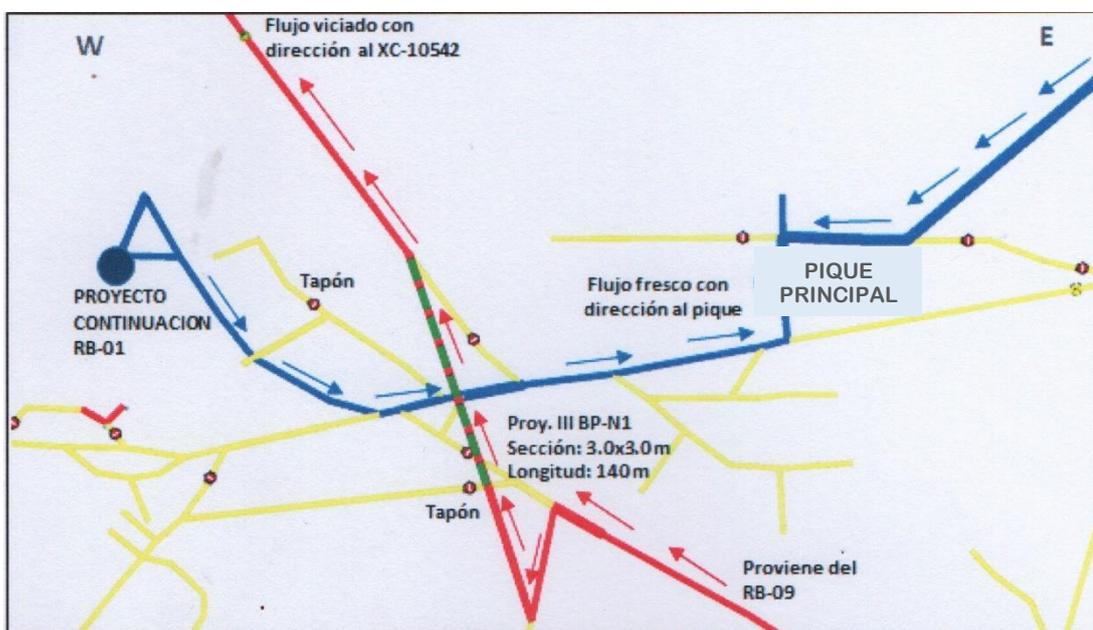


Gráfico 12 Proyecto BP-N1

- d) En el XC 10524 se tendrá que instalar un ventilador de 150 kcfm de codificación V-N1 el cual extraerá 50 kcfm de la zona Cabana-R3 y 100 kcfm de la profundización de Rampa Patrick mediante la chimenea RB-10 (en la cual previamente se acordó invertir el flujo actual) y el RC-09 será aprovechado para empalmar dicho caudal con el Nv 3,220, para llevar a cabo este circuito necesariamente se tendrá que colocar un regulador posteriormente a la comunicación del RC-09 con el Nv 3,220
- e) Como proyecto final se tiene el desarrollo del crucero en el nivel 3,220 denominado XC-N03 de sección 2.4 x 2.7 m y longitud 192 metros y

adicionalmente de una chimenea raise climber denominada RC-N03 que iniciará en el nivel 3410 de sección 2.4 x 2.4 m. y longitud 186 metros. Integrando el RB-01 y así funcionar como ingreso de aire fresco hacia el pique principal.

### Labor XC-N03

Longitud : 192 m

Sección típica : 2.4 x 2.7 m

### Labor RC-N03

Longitud : 186 m

Sección típica : 2.4 x 2.4 m

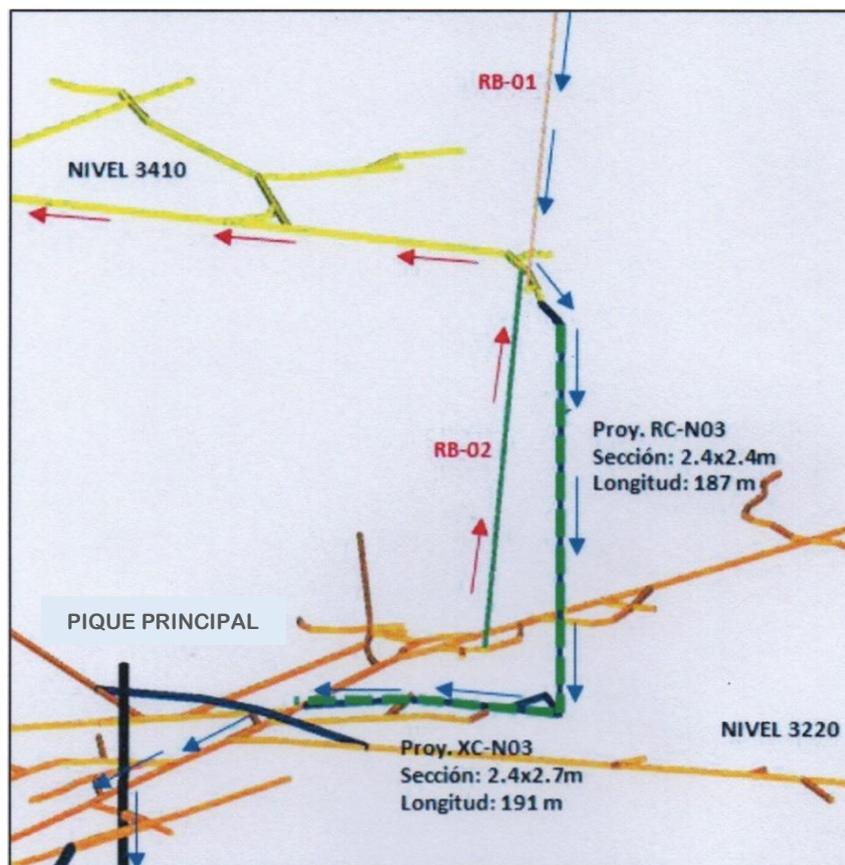


Gráfico 13 Proyecto RC – N03

- f) En el nivel 2950 para el RB-11 y RB-13 se proyecta la instalación de ventiladores de 150,000 cfm con una presión total de 12.5 in.w.g. y potencia del motor de 400 HP nominales a cota de trabajo (codificación V-N3 y V-N2), quedando

así el ventilador que actualmente se encuentra en el R-11, de código V86, en stock (almacén) sustituyéndolo por el ventilador de codificación V-N3. En el RB-13 (Nv 2950) se debe instalar el ventilador con codificación V-N2.

### 3.9.2. Análisis de velocidades a 1 año

Para realizar el análisis de velocidades del proyecto a 1 año, se tomaron 227 estaciones como referencia en el modelo simulado ventsim, obteniéndose 213 estaciones permisibles (velocidades del aire entre 20 m/min y 250 m/min), las cuales representan el 94% del total, y solo 14 estaciones no son permisibles (velocidades menores a 20 m/min y mayores a 250 m/min) representando el 6% del total de estaciones.

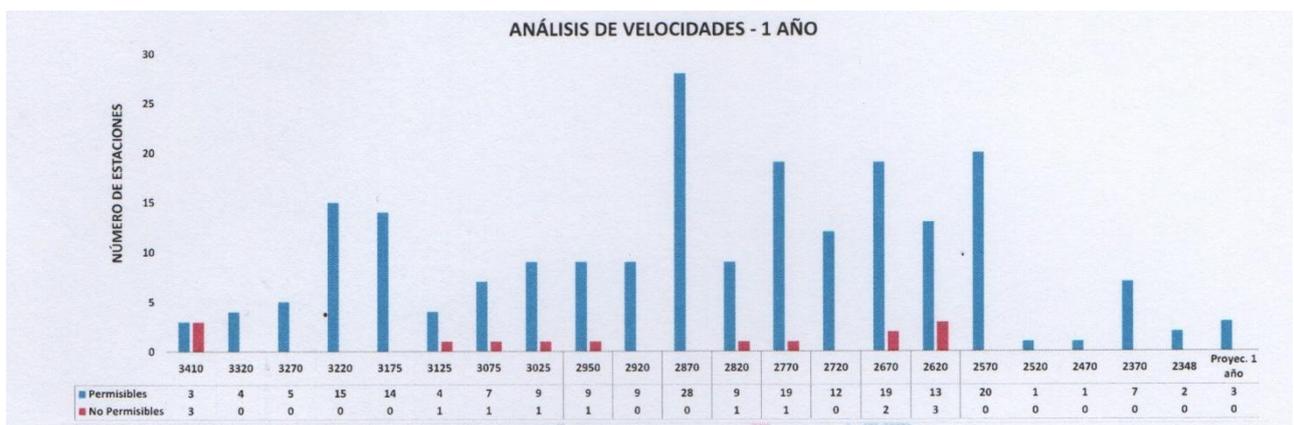


Gráfico 14 Análisis de velocidades incluyendo los proyectos a 1 año

### 3.9.3. Análisis de la temperatura a 1 año

Del modelo simulado a 1 año, se tiene que las temperaturas en la profundización de las labores tienden a disminuir llegando a tener en el Nv 2348 una temperatura promedio de 26.7 °C siendo menor a la temperatura levantada en febrero del 2018, que fue de 34.8 °C. En las proyecciones a 1 año la temperatura promedio llega a 23.7 °C

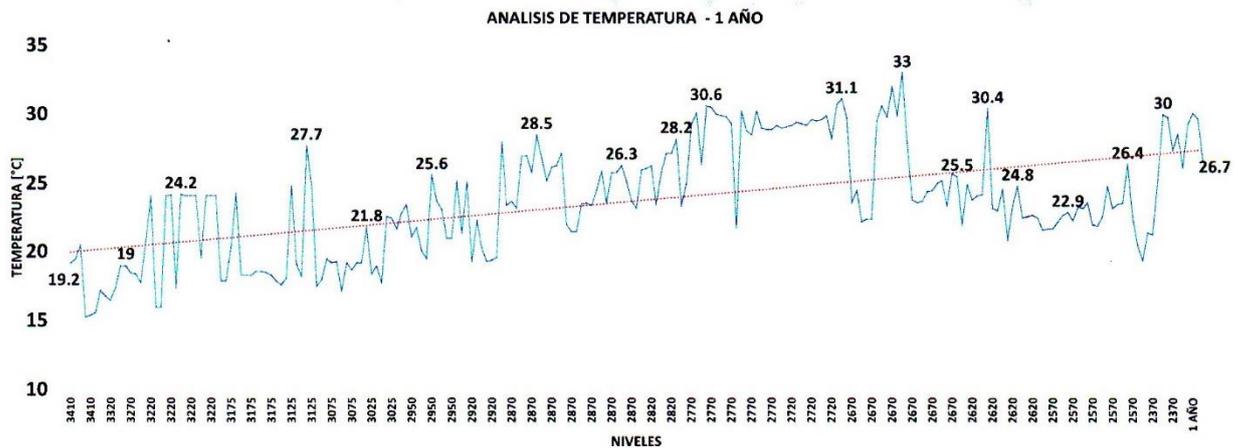


Gráfico 15 Análisis de las temperaturas considerando los proyectos a 1 año

### 3.10. INFRAESTRUCTURA DE LOS PROYECTOS A MEDIANO PLAZO – 3 AÑOS

Para comenzar a profundizar la RP Patrick se debe tener claro cuáles serán los ejes de ventilación; se proyecta utilizar las chimeneas RC-12 y el PQ principal como ingreso de aire y las Chs RB-11 , RB-13 y RB-10 como salida, a partir de estos se definirá el circuito de ventilación.

Estas chimeneas se desarrollarán por método Raise Climber en forma alternada, teniendo la premisa de desarrollar longitudes mínimas de 100 m, por razones de beneficio económico (costo de instalación y desarmado del equipo), el cual es razonable.

Una labor crítica para continuar la profundización de la RP Patrick es el pique principal, este será el pulmón del circuito, permitiendo además refrescar las labores de trabajo, por ello es importante tener labores definidas de recambio de aire cada 100 m de profundización. Condición que fue tomada en cuenta en el desarrollo del proyecto.

**Nota:** El punto de inflexión de los proyectos a mediados y largo plazo para la veta Daniela es la cota 2070

### 3.10.1. Plan de trabajo profundización RP Patrick III – veta Daniela

#### a) Proyecto – profundización EJE PIQUE PRINCIPAL

Desarrollado la RP Patrick unos 250 m en longitud, se deberá ejecutar un crucero al cual hemos denominado XC Clara, con el objetivo de direccionar el aire que bajará por el pique principal hacia la profundización de la veta Daniela en la cota 2270.

#### Labor XC-Clara proyecto I

Longitud : 468 m

Sección típica : 4.0 x 4.0 m

Se debe desarrollar una chimenea a la que denominaremos RC-Clara con el objetivo de aprovechar todo el aire fresco que bajará del pique principal, este eje será el principal pulmón para la explotación de la veta Daniela. Se recomienda una sección de 3.5 x 3.5 m para seguir aprovechando la amplia sección del pique principal. Debido al desfase existente entre el pique principal y la veta Daniela se debe desarrollar en dos tramos.

#### Labor RC-Clara Proyecto I

Longitud : 175.8 m

Sección típica : 3.5 x 3.5 m.

#### Labor RC-Clara Proyecto II

Longitud : 234 m

Sección típica : 3.5 x 3.5 m.

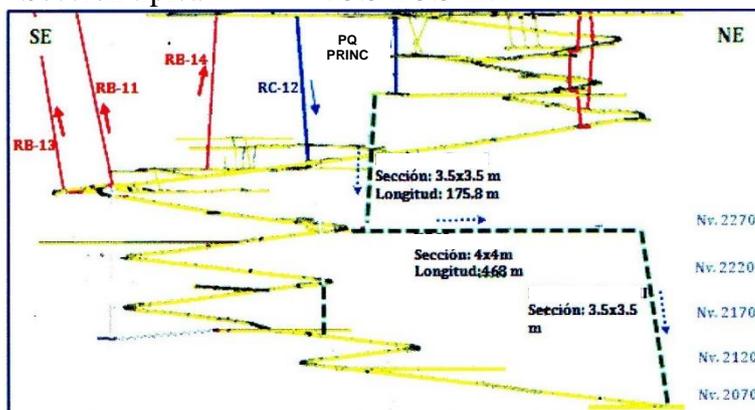


Gráfico 16 Profundización eje 'pique principal vista en elevación

## b) Profundización EJE RC-10

Además, el crucero XC – Clara permitirá desarrollar la proyección de la chimenea RC-10 el cual será uno de los ejes principales de salida de aire viciado de la zona de profundización.

### Labor RC-10 Proyecto I

Longitud : 130 m

Sección típica : 2.4 x 2.4 m

### Labor RC-10 Proyecto II

Longitud : 229 m

Sección típica : 2.4 x 2.4 m.

En la cota 2,300; existe un desfase de ésta chimenea debido a que se proyecta instalar un ventilador extractor (booster) de 150,000 cfm. Este ventilador entrará en operación cuando se desarrolle el Nv 2,020 hacia la profundización, por lo que su funcionamiento se analizará en un próximo capítulo “proyectos a largo plazo”

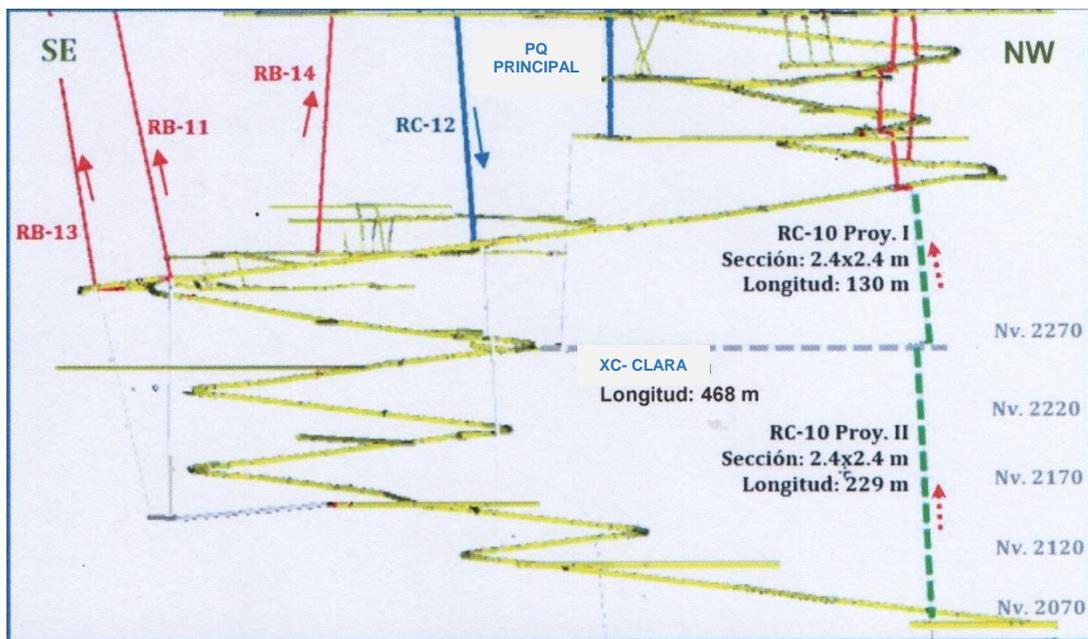


Gráfico 17 Profundización RC-10 vista en elevación

### c) Profundización EJE RC-12

Desarrollar la proyección de la chimenea RC-12 el cual será el eje de ingreso de aire fresco para la profundización de la RP Patrick. Se proyecta desarrollarla en dos tramos

#### Labor RC-12 Proyecto I

Longitud : 159 m

Sección típica : 2.4 x 2.4 m.

#### Labor RC-12 Proyecto II

Longitud : 85 m

Sección típica : 2.4 x 2.4 m.

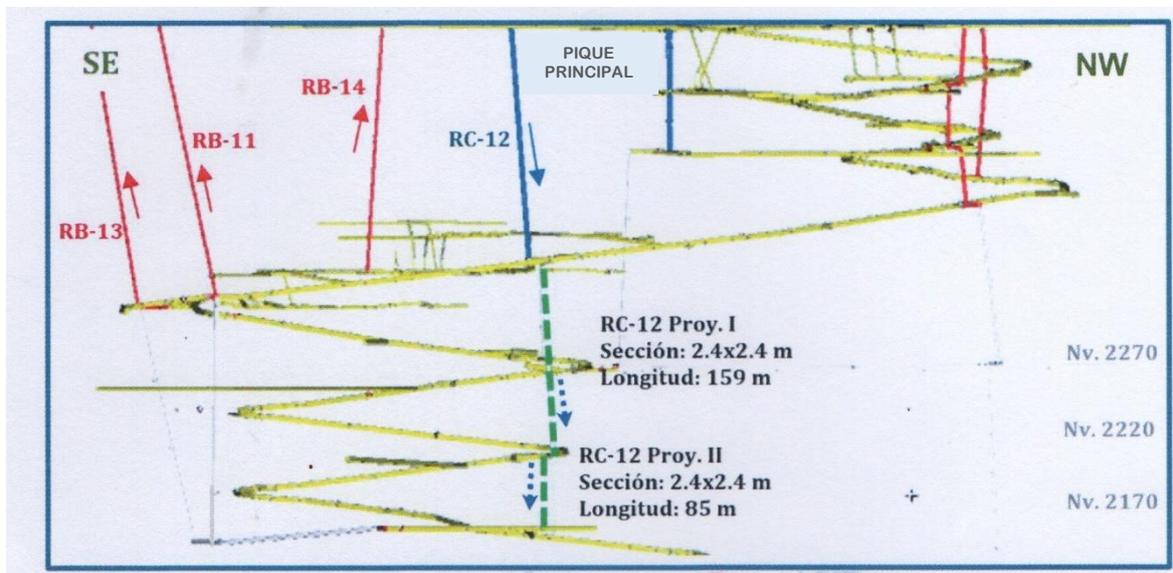


Gráfico 18 Profundización RC 12 vista en elevación

### d) Profundización EJE RB-11

Así mismo se debe profundizar la chimenea RB-11, este será el eje de evacuación de la profundización de la RP Patrick hasta la cota 2,200 m

#### Labor RC-11 Proyecto I

Longitud : 187.4 m

Sección típica : 2.4 x 2.4 m.

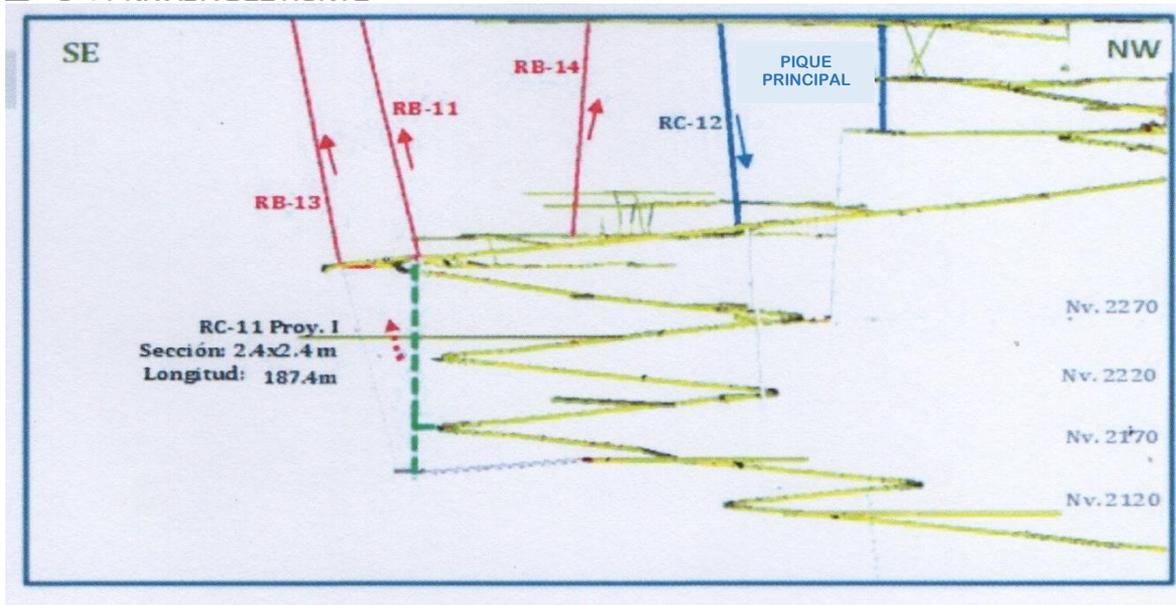


Gráfico 19 Profundización RC - 11

### e) profundización EJE RB – 13

Desarrollando el nivel 2170 se proyecta ejecutar un cruceo de longitud 396.4 m y sección de 3.5 x 3.5 m con el objetivo de dar pie a la profundización del RB-13. Este será el segundo eje de extracción de la profundización de la veta Daniela.

### Labor RC-13 Proyecto I

Longitud : 183 m

Sección típica 2.4 x 2.4 m.

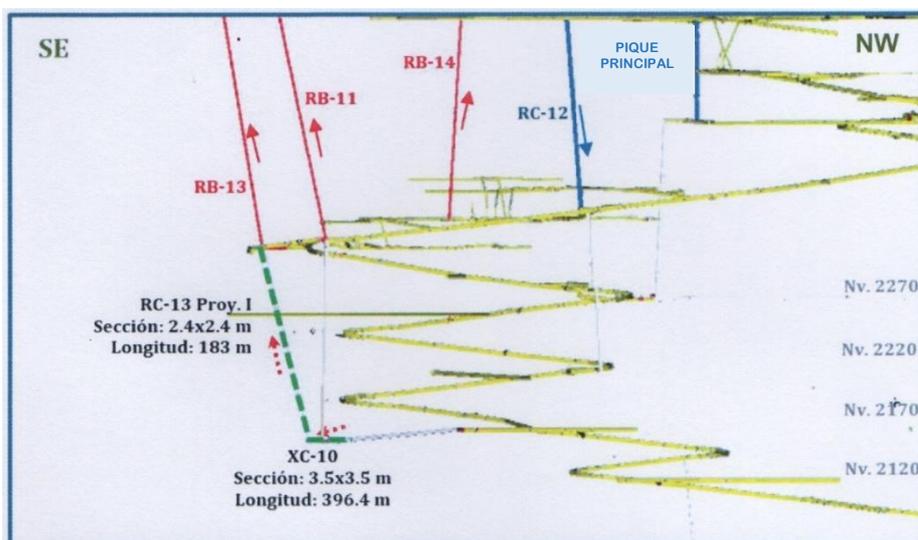


Gráfico 20 Profundización RC – 13 vista en elevación

Con el diseño proyectado se piensa desarrollar la Rampa Patrick unos 2,900 m en longitud de la cota 2,270 hasta la cota 2,070, desarrollando 200 metros en vertical.

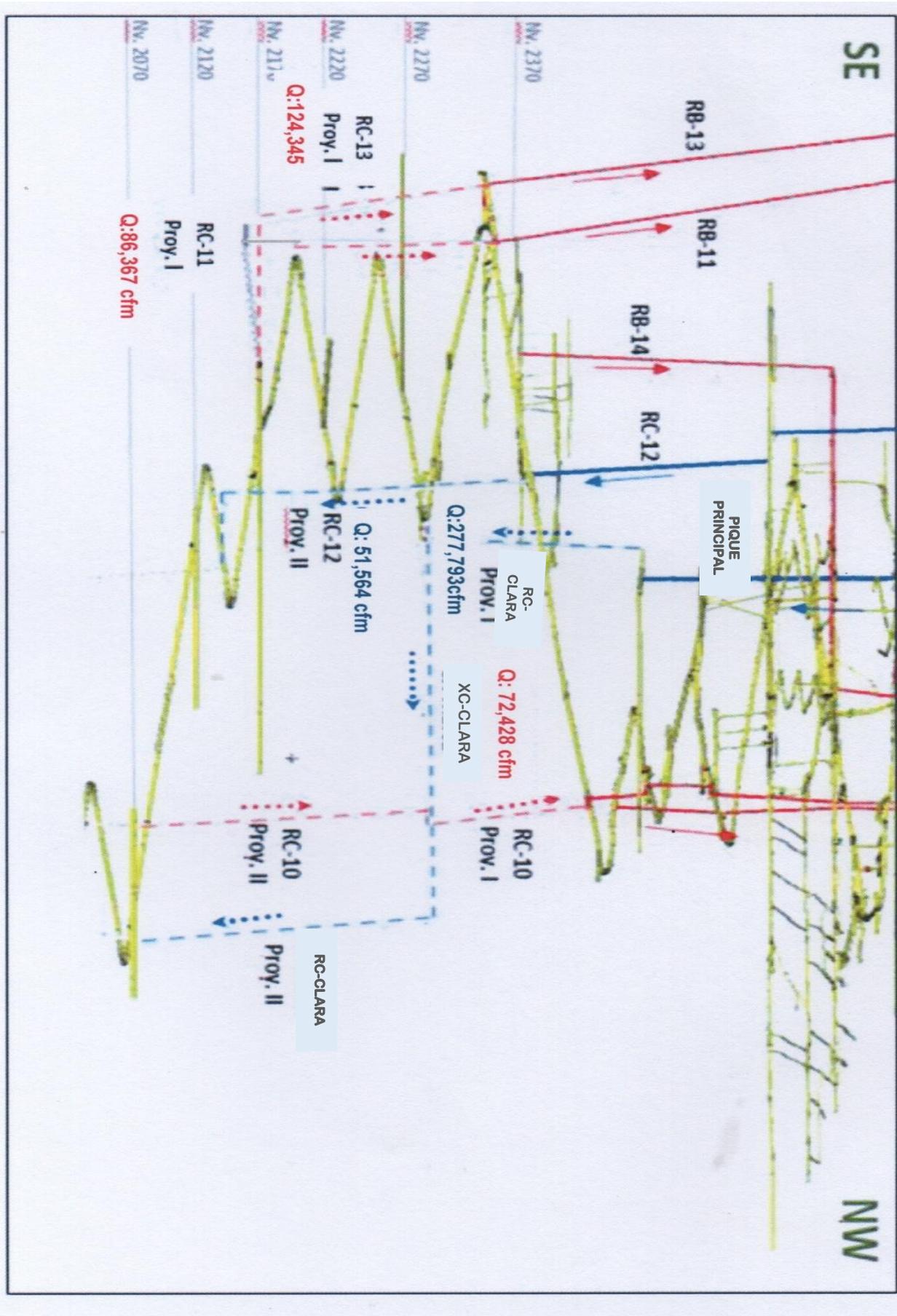


Gráfico 21 Vista en elevación - proyecto etapa a 3 años

### 3.10.2. Cálculo de la flota de equipos diésel y personal

Como se indicó, cuando se desarrollen los ejes de ventilación proyectados para la veta Daniela. Etapa 3 años, se dispone un caudal de 329,358 cfm de aire fresco. (Teniendo como ingreso de aire el pique principal y el RC12) y se tendrá un caudal de salida de 333,447 cfm (RB11, RB13, RC10, RP Patrick). Se muestra una relación de personal y equipos diésel tentativa, llegando a cubrir el requerimiento de aire total de 295,081 cfm, obteniendo una cobertura de 114%.

<b>Fórmula: <math>Q_1 = N * 4 \text{ m}^3/\text{min}</math></b>					
<b>Dónde: N= Número de personas/guardia</b>					
Circuito	Empresa	Total hombre	Q <sub>1</sub> : Caudal		Distrib
			m <sup>3</sup> /min	Cfm	
Veta Daniela	Compañía	14	56	1,978	7%
	Contrata X1	45	180	6,357	22%
	Contrata X2	45	180	6,357	22%
	Contrata X3	45	180	6,357	22%
	Contrata X4	45	180	6,357	22%
Subtotal		194	776	27,404	96%
Flotantes 3%		6	30	1,059	4%
<b>TOTAL</b>		<b>200</b>	<b>806</b>	<b>28,464</b>	<b>100%</b>

Tabla 10 Requerimiento de aire para personal – circuito Daniela

Fórmula:  $Q_2 = HP * FA * 3 \text{ m}^3/\text{min}$

Dónde HP: Potencia nominal @ 0 msnm

FA: Factor de corrección por altura

Ítem	Equipo	Cant.	Potencia equipo			Q <sub>2</sub> : Caudal requerido		Distri.
			Nominal HP	FA	Desarrollada HP	m <sup>3</sup> /min	Cfm	
1	Camioneta	2	276	0.84	232	696	24,562	9.4%
2	Camión transporte	1	140	0.84	118	353	12,459	4.8%
3	Jumbo boomer S1D	1	74	0.84	62	186	6,586	2.5%
4	Scoop 2.2 yd <sup>3</sup>	2	192	0.84	161	484	17,087	6.6%
5	Scoop 4.5 yd <sup>3</sup>	1	190	0.84	160	479	16,909	6.5%
6	Scoop 6.0 yd <sup>3</sup>	1	270	0.84	227	680	24,028	9.2%
7	Telehandler	1	100	0.84	84	252	8,899	3.4%
8	Volquete	3	1440	0.84	1210	3629	128,151	49.1%
9	Mixer mixkret	1	174	0.84	146	438	15,485	5.9%
10	Lanzador concreto	1	75	0.84	63	189	6,675	2.6%
<b>11</b>	<b>TOTAL</b>	<b>14</b>	<b>2,931</b>		<b>2,462</b>	<b>7,386</b>	<b>260,841</b>	<b>100%</b>

Tabla 11 Requerimiento de aire para equipos diésel – circuito Daniela

Caudal de aire	m <sup>3</sup> /min	cfm
$Q_r = Q_1 + Q_2$		
Caudal requerido	8,356	295,081
Q <sub>i</sub> : ingreso de aire	9,326	329,358
Q <sub>s</sub> : Salida de aire	9,442	333,447
<b>Superávit</b>	<b>1,134</b>	<b>40,053</b>
<b>Cobertura (%)</b>	<b>114</b>	

Tabla 12 Balance de ventiladores circuito Daniela

Por tanto, de este análisis se concluye para la profundización de la veta Daniela se dispone de un caudal total de 329,358 cfm, para que operen 200 hombres y 14 equipos diésel para una potencia nominal total de 2,462 HPs.

### 3.10.3. Análisis de velocidades de aire – proyecto 3 años

Se asumieron 247 estaciones en la simulación, dando como resultado 225 estaciones con velocidades de aire permisibles (velocidades entre 20 y 250 m/min) representando el 91% y 22 estaciones con velocidades no permisibles (9%).

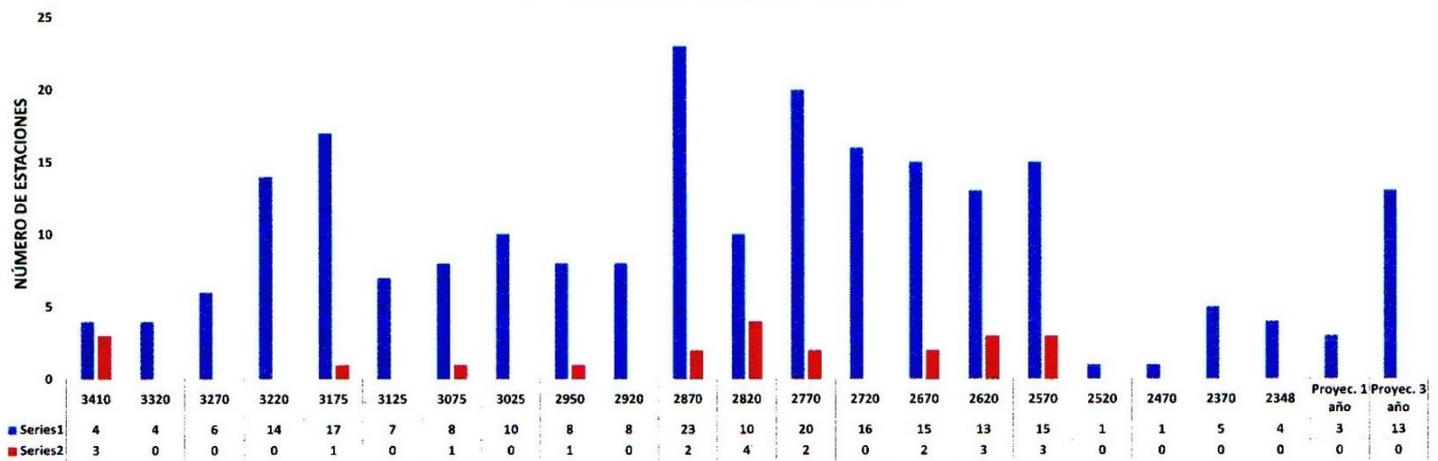


Gráfico 22 Análisis de velocidades – proyecto etapa a 3 años

### 3.10.4. Análisis de temperatura – proyecto 3 años

Se muestra que la temperatura en la profundización promedia en 24.2 °C por otro lado, entre los niveles 2,770 y 2,670. Hay un incremento considerable de la temperatura, con un promedio de 27.8 °C, con picos máximos de 30 a 33°C.

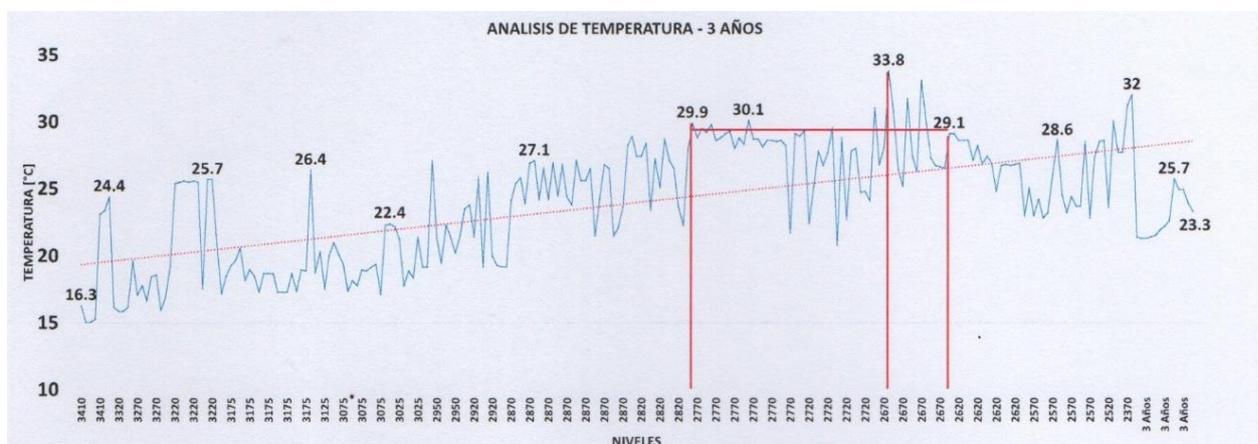


Gráfico 23 Análisis de temperaturas – proyecto etapa a 3 años

### 3.11. INFRAESTRUCTURA DE LOS PROYECTOS A LARGO PLAZO – 5 AÑOS

Se esboza el plan de trabajo de ventilación para los próximos 5 años, con el objetivo de desarrollar la RP Patrick uno 2,300 m en longitud; profundizando desde el Nv 2,070 hasta el Nv 1,820 (250 m en vertical).

#### 3.11.1. Plan de trabajo profundización RP Patrick III- Veta Daniela

##### a) Profundización eje pique principal

Como ya se indicó, el RC-Clara es de vital importancia para poder desarrollar los niveles de la profundización de la RP Patrick III, este eje se considera el principal punto de ingreso de aire fresco al sistema, donde se proyecta instalar los ventiladores auxiliares (al pie), para desarrollar los frentes de operación. Una condición favorable radica en que la chimenea (RC-Clara) debe encontrarse cerca de la comunicación entre la RP Patrick y los niveles de explotación; pero se agudiza por el buzamiento que presenta la veta Daniela (aproximadamente 30°).

Como alternativa se recomienda una labor paralela a la comunicación entre la RP Patrick y los niveles de explotación, el cual se utilizará de forma exclusiva para ventilación (ingreso de aire fresco), con el objetivo de desarrollar en forma de gradines, cuya sección de minado se estima en 2.4 x 2.4 m, desde el Nv hacia la profundización del NV 1,820

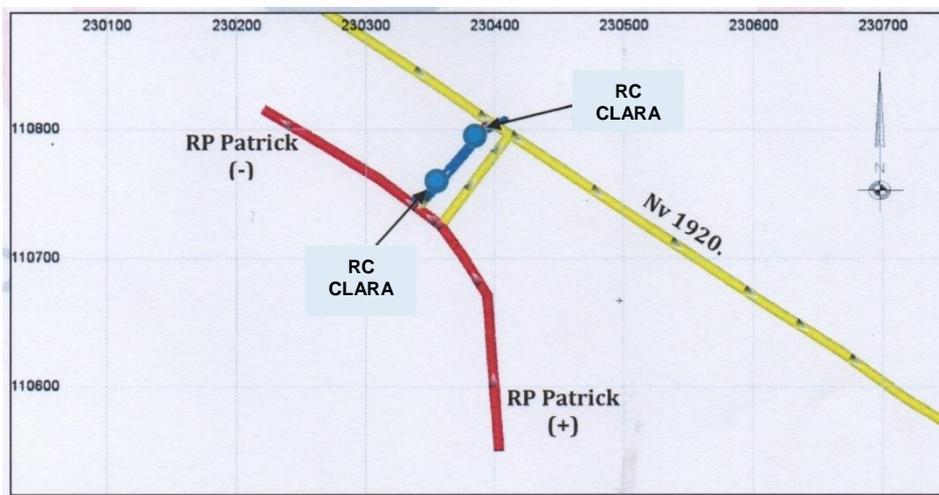


Gráfico 24 Vista de planta Nv 1920

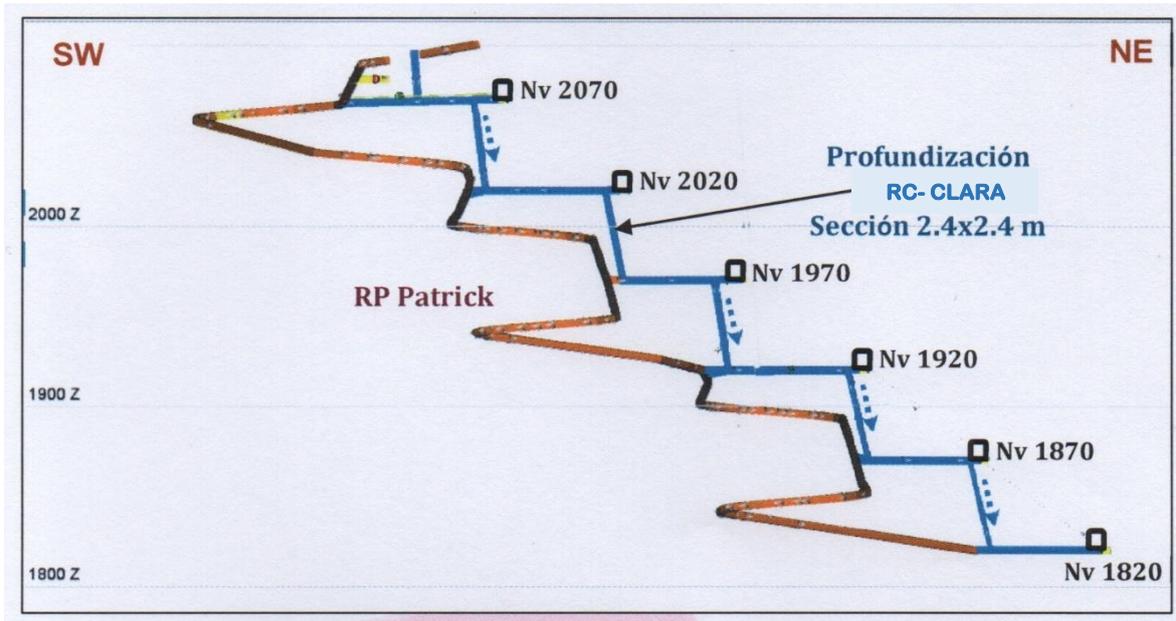


Gráfico 25 Esquema de ventilación – profundización RC Clara

### b) profundización proyecto RC – 10

La chimenea RC-10 nos va a permitir evacuar todo el aire viciado dando movimiento al flujo de aire necesario. Especialmente en la RP Patrick III, se proyecta profundizar hasta la cota 1840, manteniendo la sección en 2.4 x 2.4m

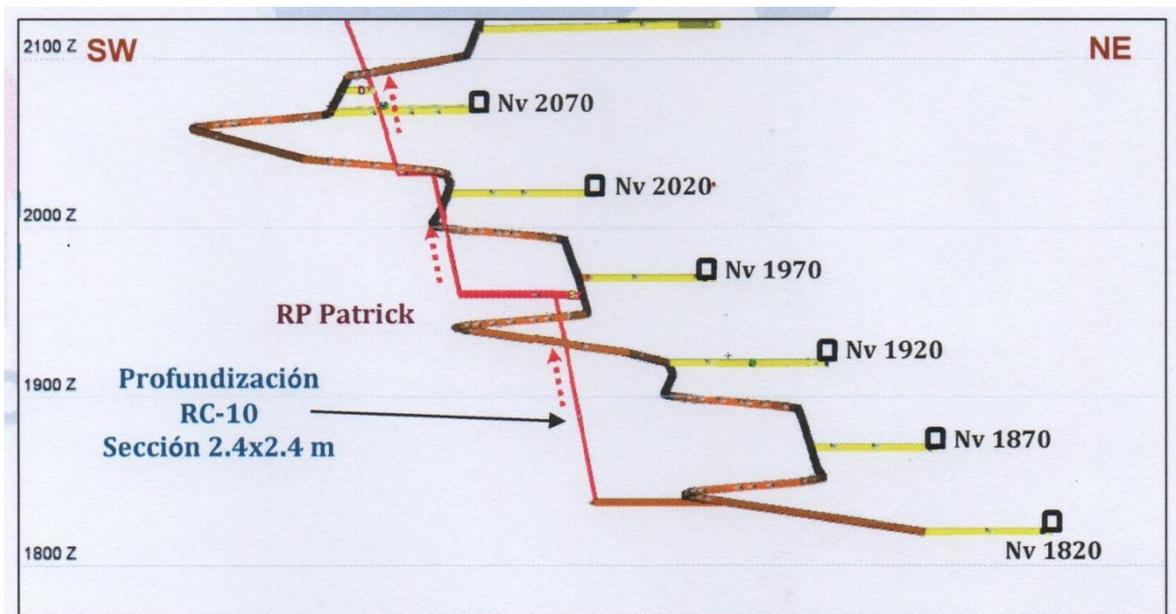


Gráfico 26 Vista de elevación de RC 10

Un punto crítico que se observa de la simulación (eje de extracción RC-10) es el ventilador ubicado en el Nv 3220 con código V-N1 experimentando un aumento en su

presión de trabajo, debido al incremento de labores a ventilar (profundización Veta Daniela) presentando una alta probabilidad de trabajar en zona de bombeo.

Por ello se recomienda instalar un nuevo ventilador de código V – NB3 de 150,000 cfm, como ventilador secundario (booster) extractor. Este ventilador se deberá instalar en una ventana hermetizada en el Nv 2300, excluyéndola del XC- Clara.

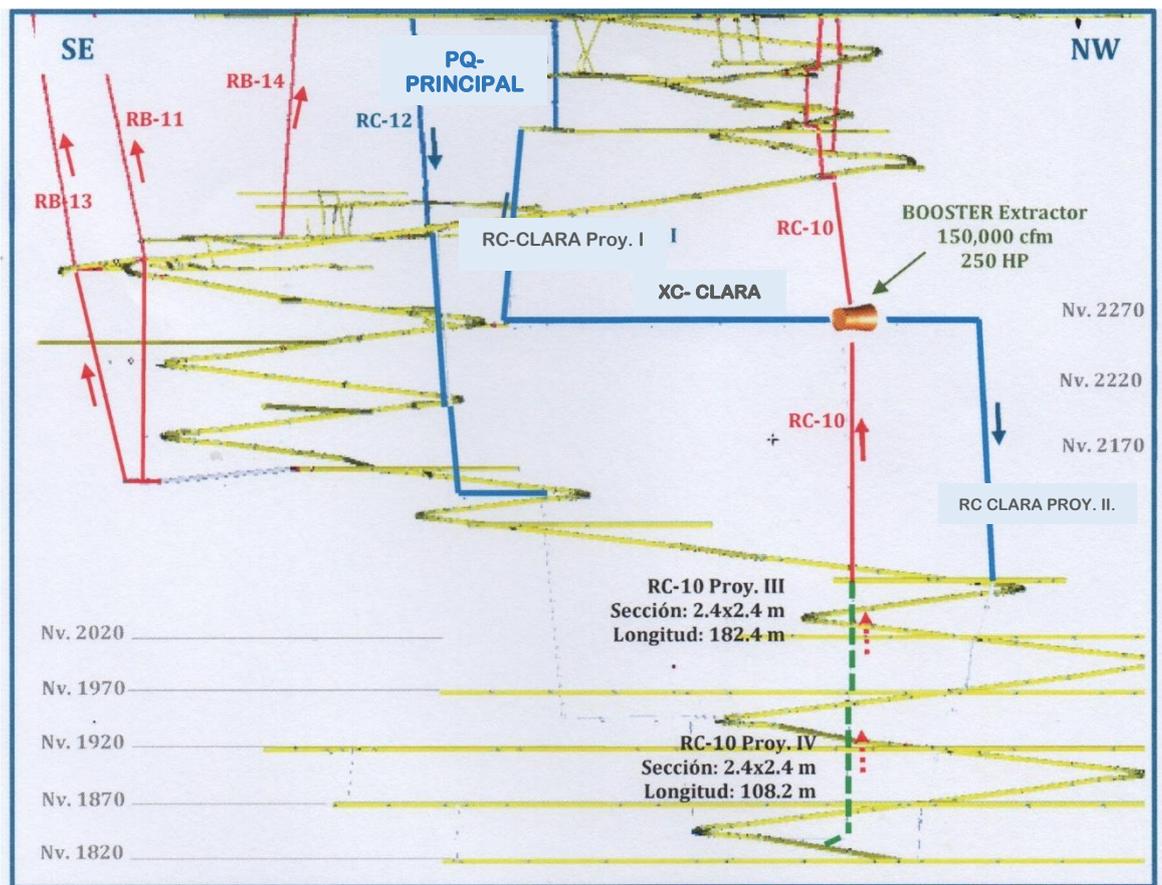


Gráfico 27 Profundización RC – 10 Vista de elevación

### c) Profundización RC-12

Se debe dar continuidad al RC-12 manteniéndolo como un eje de ingreso de aire fresco exclusivamente para la profundización de la RP Patrick. Se proyecta desarrollarla en dos tramos.

#### Labor RC-12 Proyecto III

Longitud : 198 m

Sección típica : 2.4 x 2.4 m

### Labor RC-12 Proyecto IV

Longitud : 105 m

Sección típica : 2.4 x 2.4 m

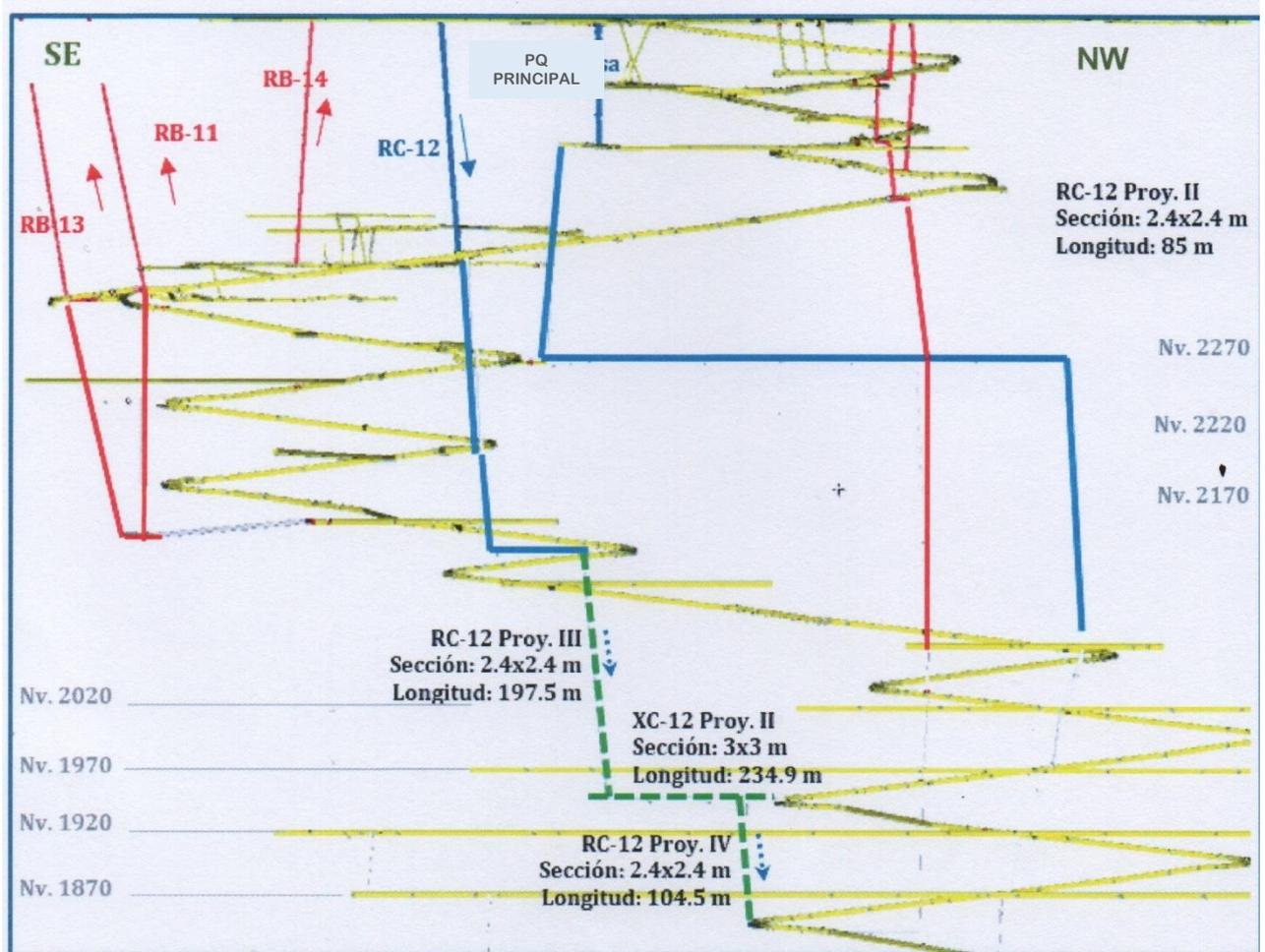


Gráfico 28 Profundización RC-12 vista en elevación

#### d) Profundización RB-13 y RB-11

Situación similar se observa en el eje de extracción del RB-13 y RB-11, en el Nv 2950 se proyecta instalar un ventilador de 150,000 cfm y debido al incremento de labores este ventilador experimenta una alta presión de trabajo. Por ello se recomienda instalar un ventilador extractor de 150,000 cfm de similares características en el Nv 2170, debido a que no se encuentra disponible se recomienda adquirir según los parámetros especificado en la tabla 13.

Condición	Caudal cfm	Presión total “CA	Presión estática “CA	Presión dinámica “CA	Potencia freno BHP	
					Kw	HP
0 msnm, T: 25°C	150,000	18.00	16.68	1.32	414	555
3000 msnm, T: 30°C	150,000	12.04	11.16	0.89	277	371

Tabla 13 Parámetro para la adquisición del ventilador principal de 150,000 proyectado

**Nota:** La presión total recomendada no incluye las pérdidas de presión propios de los accesorios (Codo, silenciadores, cono difusor y otros), el proveedor debe incrementar la presión total recomendada acorde con sus accesorios.

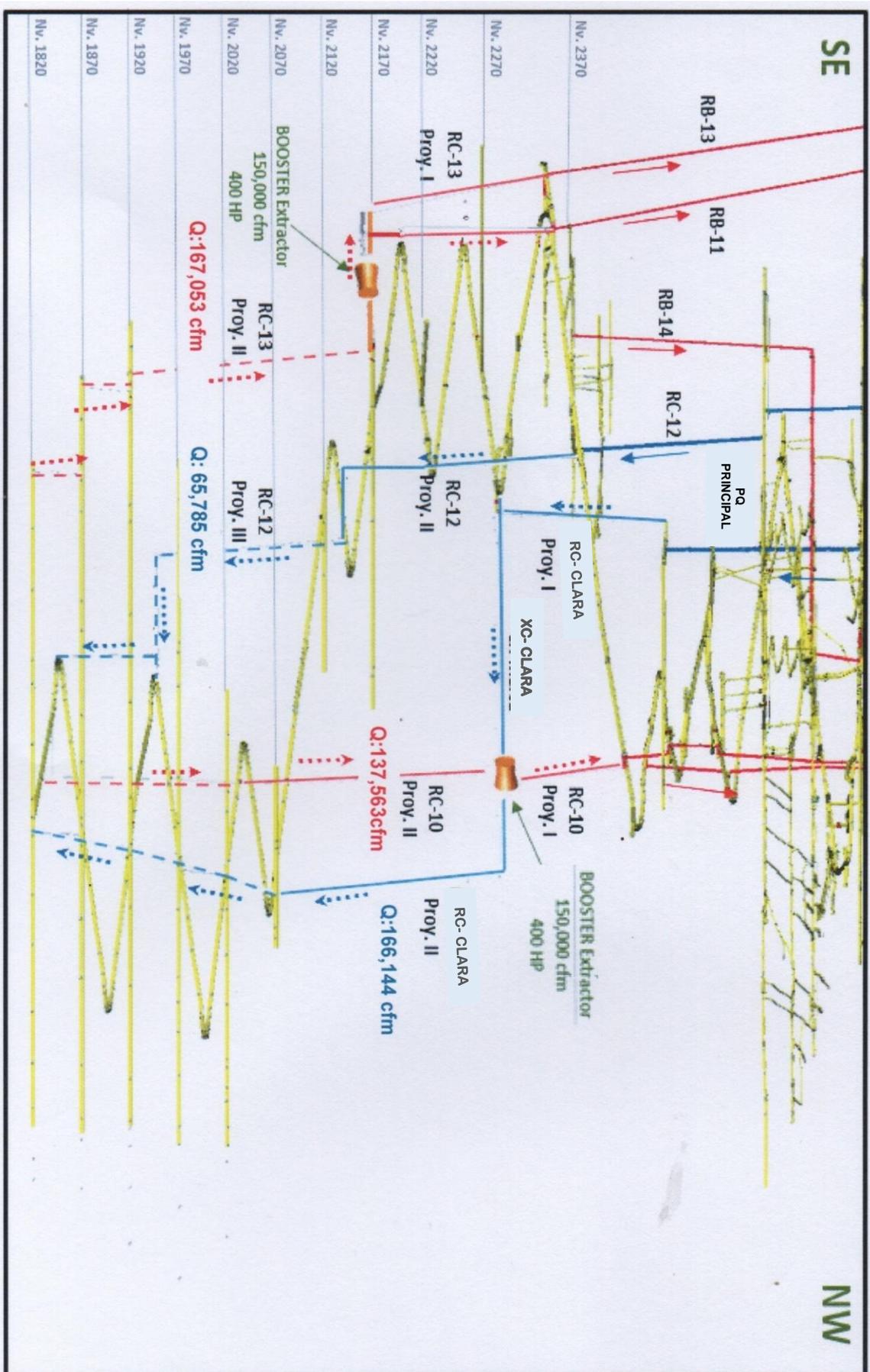


Gráfico 29 Vista en elevación – proyecto etapa a 5 años

## 8.2. Resumen del sistema veta Daniela

Se procede a calcular el volumen de aire que debe ingresar a la zona de profundización en la dirección de la Veta Daniela con el diseño recomendado, conocer este valor es muy importante para determinar qué cantidad de equipos y personal van a laborar en esta zona. Así mismo nos permite conocer cuánto es la cantidad de energía requerida por el uso de los ventiladores extractores secundarios ubicados en la proyección del RB-13 y del RC-10.

RESUMEN DE LA RED DEL SISTEMA	
<b>MODELO MINA SUBTERRÁNEA</b>	
Flujo de aire compresible	Si
La presión de ventilación natural	Si
Tipo de simulación de la presión del ventilador	Método de la presión total
Etapa	3: PROYECTOS A 5 AÑOS
Todos los Airways	13083
Actual etapa conductos	633
Longitud total	16,914.1 m
Caudal de aire total de admisión	295,034 cfm
Caudal de aire total de escape	301,696 cfm
Flujo de masa total	122.39 kg/s
Resistencia de la mina (sin tubo)	0.06478 Ns <sup>2</sup> /m <sup>8</sup>
Resistencia de la mina (Incluyendo el conducto)	0.14233 Ns <sup>2</sup> /m <sup>8</sup>
<b>RESUMEN DE POTENCIA</b>	
Potencia del AIRE (pérdida por fricción)	397.4 kW Total 129.6 kW Chimenea 51.3 kW Conducir 216.5 kW Conducto de ventil...
Refrigeración Potencia de entrada	0.0 kW
<b>Potencia eléctrica de ENTRADA</b>	<b>419.2 kW</b>
<b>Que consta de ..</b>	
11 Ventiladores	419.2 kW
0 Presiones fijadas	0.0 kW
0 Flujos fijados	0.0 kW
0 Refrigeración	0.0 kW

Gráfico 30 Resumen del sistema final para la veta Daniela

### Observaciones

- Este análisis es exclusivo de manera zonal de la veta Daniela.
- Se está considerando dos ventiladores booster y 09 auxiliares para esta zona.

### 3.11.2. Cálculo de la flota de equipos diésel y personal

Como se indicó, cuando se desarrollen los ejes de ventilación proyectados para la profundización de la veta Daniela, se dispondrá de 300,000 cfm. Se muestra una relación de personal y quipos diésel tentativos, llegando a una cobertura del 100%.

Fórmula: $Q_1 = N * 4 \text{ m}^3/\text{min}$					
Dónde: N= Número de personas/Gd					
Circuito	Empresa	Total hombre	Q1: caudal		Distrib.
			m <sup>3</sup> /min	Cfm	
Veta Daniela	Compañía	14	56	1,978	7%
	Contrata X1	45	180	6,357	2.2%
	Contrata X2	45	180	6,357	2.2%
	Contrata X3	45	180	6,357	2.2%
	Contrata X4	45	180	6,357	2.2%
<b>Subtotal</b>		<b>194</b>	<b>776</b>	<b>27,404</b>	<b>96%</b>
Flotantes 3%		6	30	1,059	4%
<b>Total</b>		<b>200</b>	<b>806</b>	<b>28,464</b>	<b>100%</b>

Tabla 14 Requerimiento de aire para personal – circuito Daniela

Fórmula: $Q_2 = HP * FA * 3 \text{ m}^3/\text{min}$								
Ítem	Equipo	Cant.	Potencia equipo			Q <sup>2</sup> :Caudal requerido		Distrib.
			Nominales HP	FA	Desarrollada HP	m <sup>3</sup> /min	cfm	
1	Camioneta	2	276	0.84	232	696	24,562	9.4%
2	Camión transporte	1	140	0.84	118	353	12,459	4.8%
3	Jumbo boomer S1D	1	74	0.84	62	186	6,586	2.5%
4	Scoop 2.2 yd3	2	192	0.84	161	484	17,087	6.6%
5	Scoop 4.5 yd3	1	190	0.84	160	479	16,909	6.5%
6	Scoop 6.0 yd3	1	270	0.84	227	680	24,028	9.2%
7	Telehandler	1	100	0.84	84	252	8,899	3.4%
8	Volquetes	3	1440	0.84	1210	3629	128,151	49.1%
9	MIxer mixkret	1	174	0.84	146	438	15,485	5.9%
10	Lanzador concreto	1	75	0.84	63	189	6,675	2.6%
<b>11</b>	<b>Total</b>	<b>14</b>	<b>2,931</b>		<b>2,462</b>	<b>7,386</b>	<b>260,841</b>	<b>100%</b>

Tabla 15 Requerimiento de aire para equipos diésel – circuito Daniela

Caudal de aire	m <sup>3</sup> /min	Cfm
Q <sub>r</sub> =Q <sub>1</sub> +Q <sub>2</sub>		
Caudal requerido	8,192	289,305
Q <sub>i</sub> : Ingreso de aire	8,354	295,034
Q <sub>s</sub> : Salida de aire	8,543	301,696
<b>Superávit</b>	<b>162</b>	<b>5,729</b>
<b>Cobertura (%)</b>	<b>102</b>	

Tabla 16 Balance de ventilación – circuito Daniela

Se concluye:

- Con el diseño planteado, para la profundización de la veta Daniela se dispondrá un caudal efectivo de 295,034 cfm.
- Podrán laborar 200 hombres y una flota de 14 equipo diésel para una potencia desarrollada total de 2,462 HPs.
- Cobertura de aire 102% (Superávit de 5,729 cfm)

### 3.11.3. Análisis de velocidades proyecto a 5 años

En el modelo simulado se asumieron 361 estaciones, obteniéndose 284 estaciones de velocidades de aire permisibles, representando el 79% y 77 estaciones no permisibles, representando 21% del total.

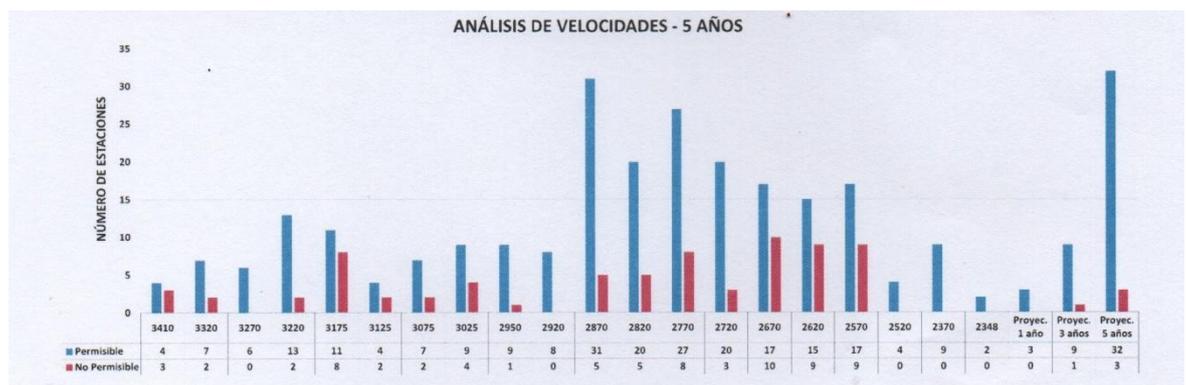


Gráfico 31 Análisis de velocidades – proyecto etapa a 5 años

### 3.11.4. Análisis de temperatura proyecto a 5 años

Las labores proyectadas para la profundización de la Rampa Patrick III y las labores que contempla el plan de minado para 5 años de la veta Daniela, se visualiza una temperatura promedio de 27.1°C desde el nivel 2,370 con una tendencia a aumentar

conforme se profundiza la mina, y cabe mencionar que no se considera el incremento de la temperatura por efecto de los equipos diésel.

Se concluye que el sistema de ventilación se ve restringida por la falta de nuevos ejes de ingreso y salida de aire al sistema. Los proyectos a largo plazo han sido mostrados modelando alternativas para lograr conectar con la superficie, mostrándose proyectos que superan los 10 km en longitud, debiéndose analizar concienzudamente el costo beneficio a fin de obtener un sistema de ventilación que permita enfriar el aire a favor del tiro natural (nivele inferiores) los cuales no han sido aprobados en la primera etapa.

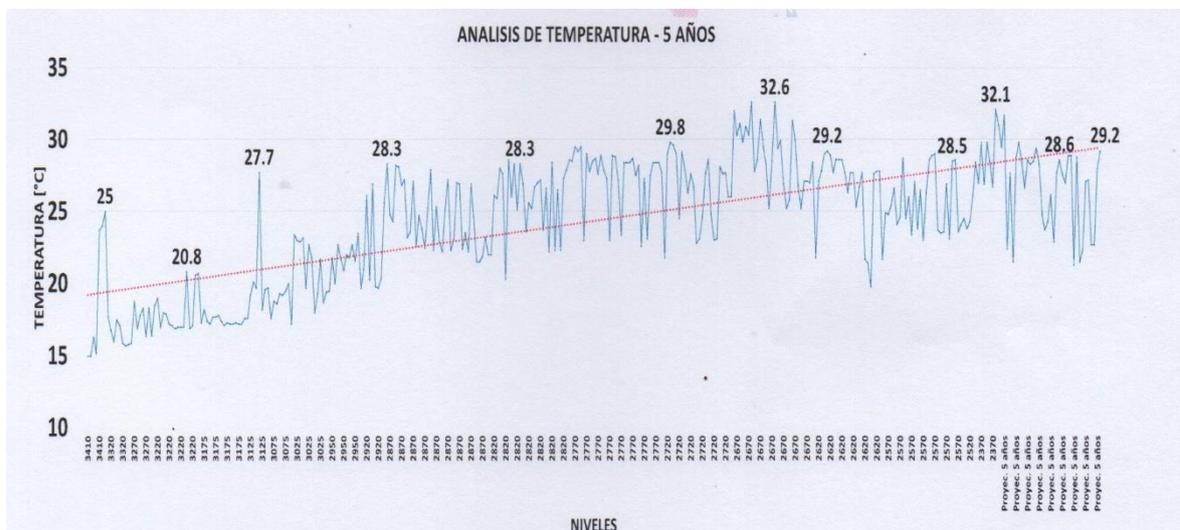


Gráfico 32 Análisis de temperatura – proyecto etapa a 5 años

### 3.12. SELECCIÓN Y UBICACIÓN DE LOS VENTILADORES

#### 3.12.1. Etapa proyecto a un año

Ítem	Modelo	Condición	Circuito	Labor	Nivel	Tipo	Nominal			Simulada		Costo US\$/año	Distrib. energía
							Caudal campo cfm	Pot. Nom. HP	Pot. Nom. kw	Caudal modelo cfm	Pot. Sim. HP		
1	VAV-66-30.0-1750-II	En operación	Actual	RB-12	2,950	Extractor	150,000	349	261	129,750	450	176,323	18%
2	VAV-66630-1750-II-B-29	Proyectado	Actual	RB 11	2,950	Extractor	150,000	387	289	132,916	443	173,543	18%
3	VAV-60-26.5-1750-II	Stock	Actual	XC – Far WEst	2,950	Extractor	110,000	228	170	118,651	238	93,446	10%
3	VproyectadoA V-60-26.5-1750-II	En operación	Actual	XC – Far west	2,950	Extractor	110,000	228	170	118,651	238	93,446	10%
4	VAV-60-26.5-1750-II	Proyectado	Actual	XC 9855 NW	3,410	Extractor	100,000	253	189	93,425	295	115,474	12%
5	VAV-66-30-1750-II-B-29	Proyectado	RC-10	Proyectada	3,220	Extractor	150,000	387	289	142,037	409	160,229	16%
6	VAV-60-30-1750-II-B-30	Proyectado	RC-13	Proyectada	2,950	Extractor	150,000	387	289	140,080	426	166,889	17%
<b>TOTAL</b>							810,000	2219	1.656	756,859	2,498	979,350	100%

NOTA: Los ventiladores de far west están instalados en serie es por eso que solo se contabiliza 1 ventilador en la suma de caudales

Tabla 17 Ventiladores principales – proyecto etapa a 1 año

<b>Cálculo de caída de presión del sistema</b>	
Caudal de ingreso de aire	712,865 cfm 336,43 m <sup>3</sup> /s
Resistencia total de la mina	0.03303 ns <sup>2</sup> /m <sup>8</sup>
Presión de la mina	3,738.61 Pa 14.99 “CA.

Tabla 18 Caída de presión del sistema – proyecto etapa a 1 año

Para la etapa a 1 año se tiene una cobertura del 106% con un superávit de 38,089 cfm, manteniendo la cantidad actual de personal y equipos diésel. Se estima que en esta etapa entre en funcionamiento el pique principal, y posiblemente se produciría una disminución de personal de planeamiento, ventilación y mina se acordó mantener la misma cantidad de equipos y personal durante los próximos 5 años.

Caudal	cfm	%
Para personal	121,413	18
Para equipos diésel	553,363	82
<b>Total</b>	<b>674,776</b>	<b>100</b>

Tabla 19 Requerimiento total de aire – proyecto etapa a 1 año

Balance total de aire		
Caudal de aire	m <sup>3</sup> /min	cfm
Total de aire requerido	19,107	674,776
Ingreso de aire a mina	20,186	712,865
Salida de aire	20,758	733,078
<b>Cobertura %</b>	106	
<b>Superávit (cfm)</b>	38,089	

Tabla 20 Balance total de aire – proyecto etapa a 1 año

### 3.12.2. Etapa proyecto a 3 años

Ítem	Modelo	Condición	Circuito	Labor	Nivel	Tipo	Nominal			Simulada		Costo US\$/año	Distrib. energía
							Caudal campo cfm	Pot. Nom. HP	Pot. Nom. kw	Caudal modelo cfm	Pot. Sim. HP		
1	VAV-66-30.0-1750-II	En operación	Actual	RB-12	2950	Extractor	150,000	349	261	130,808	442	173,501	18%
2	VAV-66-30-1750-II-B-29	Proyectado	Actual	RB 11	2950	Extractor	150,000	387	289	133,668	441	172,765	18%
3	VAV-60-26.5-1750-II	Stock	Actual	XC – Far WEst	2950	Extractor	110,000	228	170	118,317	239	93,714	10%
3	VAV-60-26.5-1750-II	En operación	Actual	XC – Far west	2950	Extractor	110,000	228	170	118,317	239	93,714	10%
4	VAV-60-26.5-1750-II	Proyectado	Actual	XC 9855 NW	3410	Extractor	100,000	253	189	96,070	287	112,531	12%
5	VAV-66-30-1750-II-B-29	Proyectado	RC-10	Proyectada	3220	Extractor	150,000	387	289	140,326	413	161,885	17%
6	VAV-60-30-1750-II-B-30	Proyectado	RC-13	Proyectada	2950	Extractor	150,000	387	289	136,299	441	172,922	18%
<b>TOTAL</b>							810,000	2,219	1,656	755,488	2,502	981,032	100%

**NOTA:** Los ventiladores de far west están instalados en serie es por eso que solo se contabiliza 1 ventilador en la suma de caudales

Tabla 21 Ventiladores principales – proyecto etapa a 3 años

Ítem	Modelo	Condición	Circuito	Labor	Nivel	Tipo	Nominal		Simulada		Costo US\$/año
							Caudal campo cfm	Pot. Nom. HP	Caudal modelo cfm	Pot. Real HP	
1	VAV-48-26.5-1750-I-A-65	Proyectado	Actual	RB 14	2620	booster	60,000	94	81,394	43	16,819

Tabla 22 Ventilador secundario – proyecto etapa a 3 años

CÁLCULO DE CAÍDA DE PRESIÓN DEL SISTEMA	
Caudal de ingreso de aire	714,309 cfm 337,12 m <sup>3</sup> /s
Resistencia total de la mina	0.03363 Ns <sup>2</sup> /m <sup>8</sup>
Presión de la mina	3,891.96 Pa 15.33 “CA”.

Tabla 23 Caída de presión del sistema – proyecto etapa a 3 años

Se cumple en la etapa a 3 años la cobertura solicitada a un 106% teniendo un superávit de 39,533 cfm.

Caudal	Cfm	%
Para personal	121,413	18
Para equipos diésel	553,363	82
<b>Total</b>	<b>674,776</b>	<b>100</b>

Tabla 24 Requerimiento total de aire – proyecto etapa a 3 años

Caudal de aire	m <sup>3</sup> /min	Cfm
Total de aire requerido	19,107	674,776
Ingreso de aire a mina	20,227	714,309
Salida de aire	20,718	731,670
<b>Cobertura (%)</b>	<b>106</b>	
<b>Superávit</b>	<b>39,533</b>	

Tabla 25 Balance total de aire – proyecto etapa a 3 años (\*)

\* La tabla mostrada para el proyecto etapa 1, 3 y 5 no varía el cálculo de requerimiento de aire

### 3.12.3. Etapa proyecto a 5 años

Ítem	Modelo	Condición	Circuito	Labor	Nivel	Tipo	Nominal			Simulada		Costo US\$/año	Distrib. energía
							Caudal campo cfm	Pot. Nom. HP	Pot. Nom. kw	Caudal modelo cfm	Pot. Sim. HP		
1	VAV-66-30.0-1750-II	En operación	Actual	RB-12	2,950	Extractor	150,000	349	261	132,618	441	172,922	18%
2	VAV-66-30-1750-II-B-29	Proyectado	Actual	RB 11	2,950	Extractor	150,000	387	289	134,642	438	171,608	18%
3	VAV-60-26.5-1750-II	Stock	Actual	XC – Far West	2,950	Extractor	110,000	228	170	119,332	237	93,057	10%
4	VAV-60-26.5-1750-II	En operación	Actual	XC – Far west	2,950	Extractor	110,000	228	170	119,332	237	93,057	10%
5	VAV-60-26.5-1750-II	Proyectado	Actual	XC 9855 NW	3,410	Extractor	100,000	253	189	97,869	285	111,637	12%
6	VAV-66-30-1750-II-B-29	Proyectado	RC-10	Proyectada	3,220	Extractor	150,000	387	289	155,376	348	136,341	14%
7	VAV-60-30-1750-II-B-30	Proyectado	RC-13	Proyectada	2,950	Extractor	150,000	387	289	140,037	420	164,828	17%
<b>TOTAL</b>							810,000	2,219	1,656	779,874	2,406	943,452	100%

**NOTA:** Los ventiladores de far west están instalados en serie es por eso que solo se contabiliza 1 ventilador en la suma de caudales

Tabla 26 Ventiladores principales etapa – proyecto etapa a 5 años

Ítem	Modelo	Condición	Circuito	Labor	Nivel	Tipo	Nominal		Simulada		Costo US\$/año
							Caudal campo cfm	Pot. Nom. HP	Caudal modelo cfm	Pot. Sim. HP	
1	VAV-66-30.0-1750-II-B-29	Proyectado	Actual	RC10	2,300	Booster	150,000	387	140,342	454,826	178,336
2	VAV-66-30-1750-II-B-29	Proyectado	Actual	RB 13	2,170	Booster	150,000	387	170,366	332.3	110,691.36
3	VAV-60-26.5-1750-I-A-65	Proyectado	Actual	RB 14	2,620	Booster	60000	94	7,8870	46	18185.76
<b>TOTAL</b>							360,000	868	389,578	833,526	307,213.2

Tabla 27 Ventiladores secundarios – proyecto etapa a 5 años

<b>CÁLCULO DE CAÍDA DE PRESIÓN DEL SISTEMA</b>	
Caudal de ingreso de aire	734,159 cfm 346.48 m <sup>3</sup> /s
Resistencia total de la mina	0.03947 Ns <sup>2</sup> /m <sup>8</sup>
Presión de la mina	4,731.41 Pa 19.00 “CA.

Tabla 28 Caída de presión del sistema – proyecto etapa a 5 años

Se logra para la etapa a 5 años una cobertura del 109% teniendo un superávit de 59,383 cfm lográndose cumplir los solicitado por el decreto supremo 024-2016 y su modificatoria el DS-

023-2017-EM, esto considerándose mantenerse la misma cantidad de personal y los equipos de la etapa 1 y 2 del proyecto, queda claro que la mina, deberá optimizar el uso de equipos diésel para la presente etapa, incrementándose así la cobertura del sistema de ventilación.

Caudal	Cfm	%
Para personal	121,413	18
Para equipos diésel	553,363	82
<b>Total</b>	<b>674,776</b>	<b>100</b>

Tabla 29 Requerimiento total de aire – proyecto etapa a 5 años

Caudal de aire	m <sup>3</sup> /min	Cfm
Total de aire requerido	19,107	674,776
Ingreso de aire a mina	20,789	734,159
Salida de aire	21,492	758,986
<b>Cobertura (%)</b>	<b>109</b>	
<b>Superávit</b>	<b>59,383</b>	

Tabla 30 Balance total de aire – proyecto etapa a 5 años

Se muestra la distribución por etapas, donde se aprecia un incremento de caudal en la etapa a 1 y 5 años y una disminución en la etapa a 3 años, debido a la ausencia de ventiladores booster de apoyo en la profundización.

Ítem	Etapa	Cantidad ventiladores extractores principales	Nominal			Simulada				Ratio US\$/cfm-año
			Caudal cfm	Potenc. HP	Potenc. kw	Caudal cfm	Potenc. HP	Potenc. Kw	Costo US\$/año	
1	Actual	4 (actuales)	480,000	1,036	773	491,212	1,189	887	466,155	0.949
2	01 año	3(actuales) + 4 (proyect.)	810,000	2,219	1,656	756,859	2,498	1,863	979,350	1.294
3	03 años	3(actuales) + 4 (proyect.)	810,000	2,219	1,656	755,488	2,502	1,867	981,032	1.299
4	05 años	3(actuales) + 4 (proyect.)	810,000	2,219	1,656	779,874	2,406	1,795	943,452	1.210

Tabla 31 Resumen de ventiladores principales por etapas de 1 a 5 años

Ítem	Etapa	Cantidad ventiladores extractores principales	Nominal			Simulada			
			Caudal cfm	Potenc. HP	Potenc. kw	Caudal cfm	Potenc. BHP	Potenc. Kw	Costo US\$/año
1	3 año	1 (proyect.)	60,000	94	70	81,394	43	32	16,819
2	5 años	3 (proyect.)	360,000	868	648	389,578	857	585	307,213

Tabla 32 Resumen de ventiladores secundarios por etapas

En el siguiente gráfico se muestra la comparativa de ingresos y salidas, según las etapas propuestas:

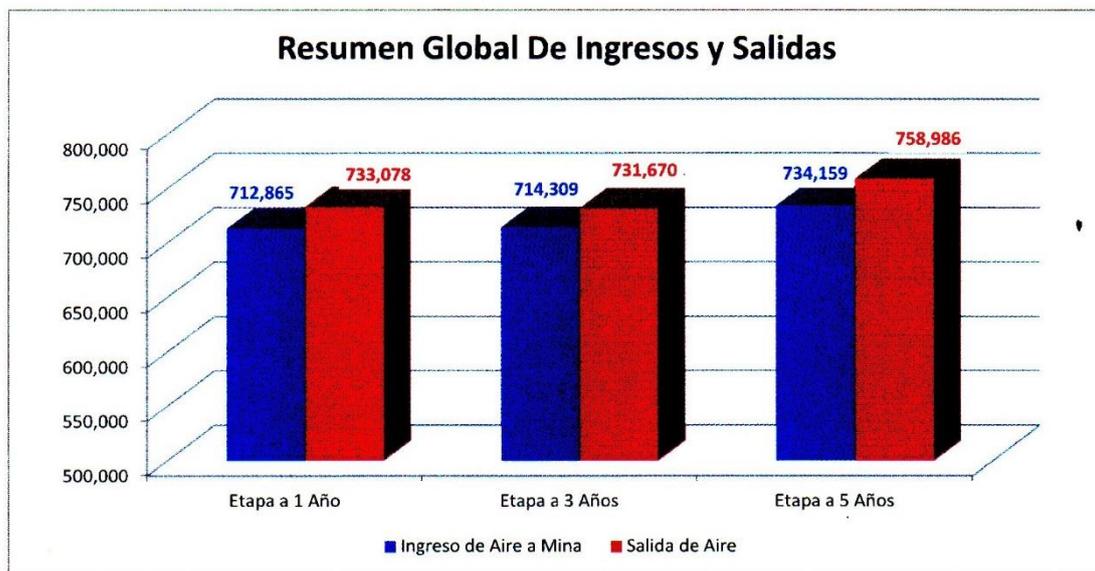


Gráfico 33 Resumen global del balance de ingresos y salidas

### 3.13. COSTO DE VENTILACIÓN – CIRCUITO PRINCIPAL

#### 3.13.1. Costos de capital – CAPEX

Luego de haber evaluado el sistema de ventilación, observamos que la mina subterránea no habría invertido en ventilación (infraestructura, chimeneas, ventiladores y equipos), reflejo de ello es el déficit de aire existente (224,745 cfm), llegando a una modesta cobertura de 67%, motivo por el cual se propone un plan de inversión acorde con los proyectos recomendados con el objetivo de cubrir la demanda de aire fresco y garantizar la continuidad de sus operaciones, dando prioridad a la profundización de la RP Patrick III y el desarrollo de la Veta Daniela, con esa inversión se proyecta llegar al Nv 1,820 (NV actual 2,348, altura proyectada 528 m. en un periodo de 5 años)

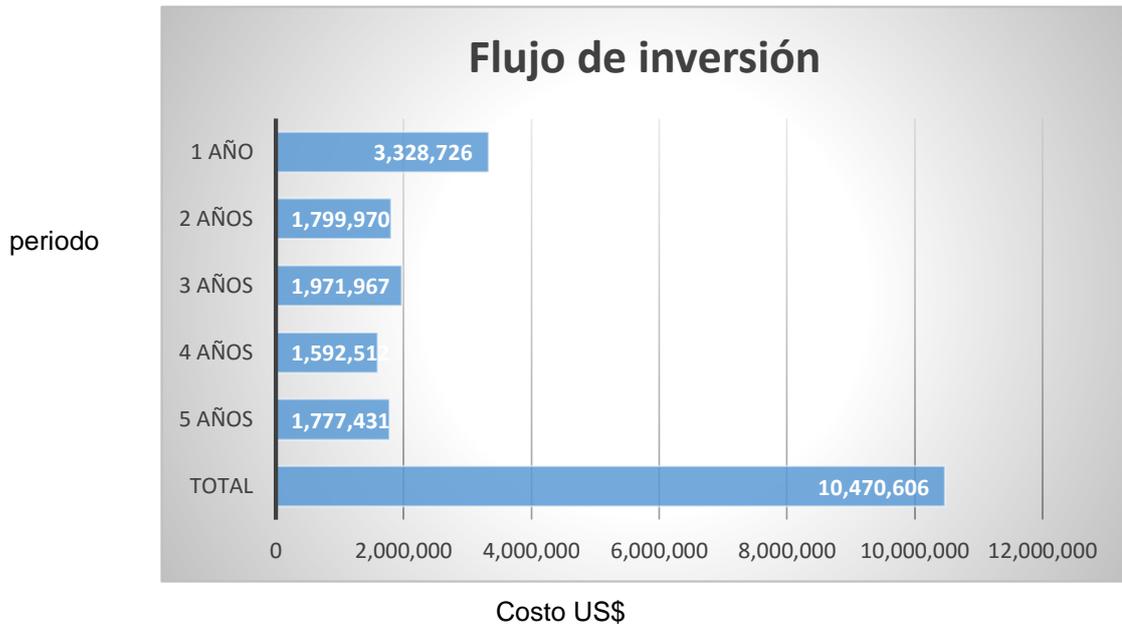


Gráfico 34 Flujo de inversión por año

En la etapa a 1 año, se estima una inversión de US\$ 3.3 millones, para cubrir el déficit de aire fresco, pasando de una cobertura de 67% (actual) a 106 % (proyectado). En el gráfico 34 se muestra la inversión anualizada, donde se puede observar que en los primeros años se invierte más y en los años subsecuentes se reduce progresivamente. Por ello el costo unitario del CAPEX de 5.67 US\$/TMS se reduce a 3.03 US\$/TMS durante los 5 años que dura el proyecto.

Ítem	Descripción	U/M	Actual	A 1 año	A 2 años	A 3 años	A 4 años	A 5 años
			Feb-18	Feb-19	Feb-20	Feb-21	Feb-22	Feb-23
1	Producción de mineral referencial	TM/año	587,000	587,000	587,000	587,000	587,000	587,000
2	Caudal de aire total de admisión	CFM	450,032	712,865	713,587	714,309	724,234	734,159
3	Caudal de aire total de escape	CFM	494,505	733,078	732,374	731,670	745,328	758,986
4	<b>Costo capital por año</b>	Us\$	0	3'328,726	1'799,970	1'971,967	1'592,512	1'777,431
5	Costo unitario CAPEX	US\$TMS	0.00	5.67	3.07	3.36	2.71	3.03

Tabla 33 Costo del capital del sistema primario - CAPEX

Tabla 34 Flujo de inversión desglosado por año – CAPEX

Ítems	Descripción	U/M	Actual	1 año	2 año	3 años	4 años	5 años	Total
	Periodo		1	2	3	4	5	6	
1	Rampa salida a superficie R – C17	Us\$		608,637					608,637
2	Profundización RC 07	Us\$		640,625					640,625
3	CH entre Nv 3125 – Nv 3175	Us\$		89,717					89,717
4	By pass de aire viciado Nv 3220	Us\$		118,598					118,598
5	CH entre Nv 3220 – Nv 3410	Us\$		408,486					408,486
6	Adquisic/Instalac (1) FAN 100,000 cfm 250 HP	Us\$		271,664					271,664
7	Adquisic/Instalac (3) FAN 150,000 cfm 400 HP	Us\$		1'191,000					1'191,000
1	Veta Daniela – profundización pique principal	Us\$			1'508,132				1'508,132
2	Veta Daniela – Profundización RC – 10 (Salida)	Us\$			291,838	366,706			658,544
3	Veta Daniela – Profundización RC 12 (Ingreso)	Us\$				584,605			584,605
4	Veta Daniela – Profundización RB 11 (Salida)	Us\$				343,684			343,684
5	Veta Daniela – profundización RB 13 (Salida)	Us\$				605,972			605,972
6	ADquisic/-instalac (1) FAN 60,000 cfm 120 HP	Us\$				71,000			71,000
1	Veta Daniela – profundización pique principal	Us\$					644,036		644,036
2	Veta Daniela – profundización RC 10 (Salida)	Us\$					494,525		494,525
3	Veta Daniela – profundización RC 12 (Ingreso)	Us\$					453,950	209,931	663,881
4	Veta Daniela – profundización RB 13 (Salida)	Us\$						773,500	773,500
5	ADquisic/Instalac (1) FAN 150,000 cfm 400 HP “eje RB 13”	Us\$						397,000	397,000
6	Adquisic/ Instalac (1) FAN 150,000 cfm 400 HP “eje RC 10”	Us\$						397,000	397,000
	<b>TOTAL US\$</b>		0	3'328,726	1'799,970	1'971,967	1'592,512	1'777,431	10'470,606

### 3.13.2. Costos de operación – OPEX

Se estimó en base al consumo de energía eléctrica de los ventiladores principales y secundarios (booster), mano de obra, herramientas, materiales, servicios y otros. En la tabla 35 se muestra el costo operativo por cada cfm producido por el diseño propuesto.

Ítem	Descripción	U/M	Etapas de evaluación – OPEX					
			Actual Feb-18	1 año Feb-19	2 año Feb-20	3 años Feb-21	4 años Feb-22	5 años Feb-23
1	Producción de mineral	TM/año	587,000	587,000	587,000	587,000	587,000	587,000
2	Total de ventiladores en operación		4	7	7	7	7	9
3	Caudal de aire total de admisión	Cfm	450,032	712,865	713,587	714,309	724,234	734,159
4	Caudal de aire total de escape	Cfm	494,505	733,078	732,374	731,670	745,328	758,986
5	Potencia instalada en vent. Principal	Kw	55,635	78,637	76,541	74,445	73,397	96,861
6	Consumo de energía	US\$	466,155	980,290	980,673	981,055	962,265	943,474
7	Mano de obra–15 personas (12.7%)	US\$	59,183	124,458	124,506	124,555	122,169	119,784
8	Materiales/herramientas/otro (28%)	US\$	15,495	21,901	21,318	20,734	20,442	26,977
9	Cobertura real	%	67%	106%	106%	106%	108%	109%
10	Déficit – superávit	%	33%	6%	6%	6%	8%	9%
	Costo operación por año	US\$	540,833	1,126,649	1,126,497	1,126,344	1,104,876	1,090,235
	Costo unitario caudal	US\$/cfm	1.20	1.58	1.58	1.58	1.53	1.49
	Costo unitario OPEX	US\$/TMS	0.92	1.92	1.92	1.92	88	1.86

Tabla 35 Costo de operación del sistema primario

Es de vital importancia la reducción de labores, minimizar las longitudes, los codos, la rugosidad (minado uniforme de las paredes) y objetos permanentes que obstruyen el paso del aire en las labores mineras (ingresos y salidas fundamentalmente), Significará un ahorro del consumo de energía eléctrica.

Se observa un incremento paulatino en el costo de operación, debido a que desde el segundo año se están manteniendo los ejes de ventilación, pero la tendencia de la mina es hacia la profundización, (se proyecta profundizar 100 m cada año), motivo por el cual los ventiladores experimentan un incremento en la presión de trabajo, como resultado, mayor consumo de energía llegando a valores críticos a los 5 años. Motivo por el cual

se proyecta instalar dos booster al sistema primario. Este análisis se refleja en el gráfico

35 donde el mayor valor se observa en el periodo de 5 años.

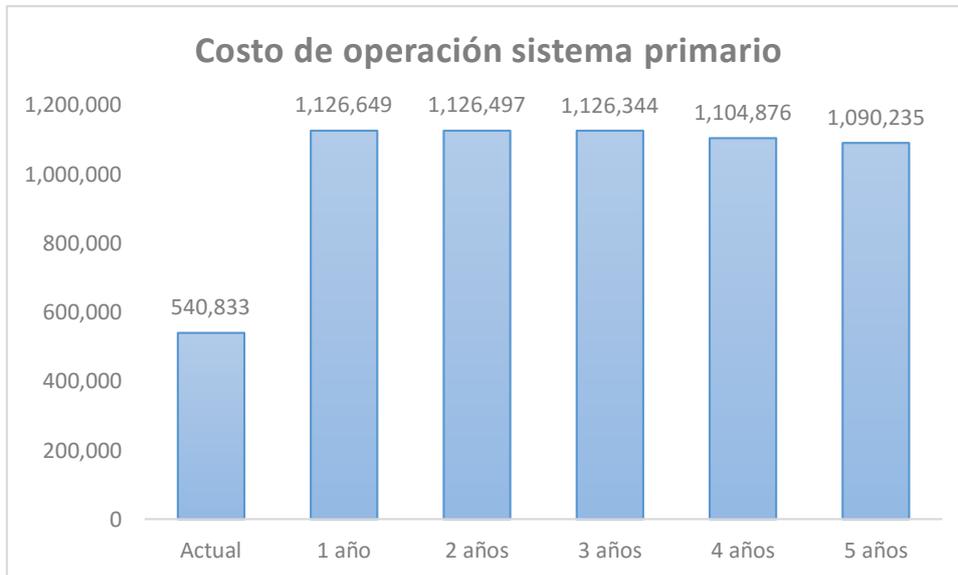


Gráfico 35 Costo de operación del sistema primario

### 3.13.3. Costo unitario del sistema de ventilación primario

Teniendo los costos unitarios de inversión y operación (US\$/cfm) proyectado para los próximos 5 años, estimamos cuanto es el costo del sistema de ventilación del sistema primario acorde al programa de producción a largo plazo.

Ítems	Descripción	U/M	PERIODO					
			Actual	1 año	2 años	3 años	4 años	5 años
			2018	2019	2020	2021	2022	2023
1	Producción de mineral	TM/año	587,000	587,000	587,000	587,000	587,000	587,000
2	Costo de inversión (Capex)	US\$/año	0	3'328,726	1'971,970	1'971,967	1'592,512	1'777,431
3	Costo capital	US\$/TM		5.67	3.07	3.36	2.71	3.03
4	Costo de operación (Opex)	US\$/año	540,833	1'126,649	1'126,497	1'126,344	1'104,876	1'090,235
5	Costo operación	US\$/TM	0.92	1.92	1.92	1.92	1.88	1.86
6	Total	US\$/año	540,833	4'455,376	2'926,466	3'098,311	2'697,388	2'867,665
7	Costo de ventilación	US\$/TM	0.92	7.59	4.99	5.28	4.60	4.89

Tabla 36 Capex y Opex acorde al programa de producción a largo plazo

El costo de inversión del primer año es mayor en comparación a los años siguientes, debido a la necesidad de cobertura de aire requerido para ese periodo. Sin embargo, la tendencia del costo de operación es mayor en los últimos años; este fenómeno ocurre debido a la profundización de la Veta Daniela. En condiciones de cobertura de aire fresco requerido mayor a 100%.

### 3.14. PLAN DE TRABAJO Y MEJORA CONTINUA

En la siguiente tabla se muestra el plan de trabajo para obtener la mejora continua del sistema de ventilación

Tabla 37 Plan de trabajo y mejora continua

ACTIVIDADES PARA LA MEJORA DE LAS CONDICIONES DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN													
Ítem	Actividades a desarrollar	Grado de importancia	Área responsable	Requerimiento	Tiempo (día)	Observaciones	Fecha inicio – Fecha final	Jun 18 Sem. 1 sem 2 sem 3	Jul 18 Sem 1 sem 2 sem 3 sem 4	Ago 18 Sem 1 sem 2 sem 3 sem 4	Set 18 Sem 1 sem 2 sem 3 sem 4	Oct 18 Sem 1 sem 2 sem 3 sem 4	Nov 18 Sem 1 sem 2 sem 3 sem 4
1	Confección e instalación de difusores en la salida del RB11 y RB12	1	Mantenimiento mecánico empresa SKANSKA	Diseño	45	Visualizar diseño adjunto en archivo CAD.	25-jun-18 09-ago-18						
2	Reparación de las puertas de ventilación en el nivel 2950, que dan acceso a los ventiladores V88(150 kcfm), V86 (110 kcfm) y V78 (110 kcfm)	5	Mantenimiento mecánico empresa SKANSKA	Evaluación de campo	30	Después de la evaluación en campo programar la reparación de las puertas de ventilación.	23-jul-18 / 22 ago18						
3	Hermetizado de los ventiladores principales V88(150 kcfm), V86 (110 kcfm) y V78 (110 kcfm)	6	Mantenimiento mecánico empresa SKANSKA	Ventilación mina	20	Actualmente los ventiladores están hermetizados directamente al concreto armado.	28 jul 18 / 17 ago 18						
4	Habilitar puerta de acceso a los ventiladores principales nivel 2850 V88(150 kcfm), V86 (110 kcfm) y V78 (110 kcfm) XC far west y nivel 3410 San vicente V73 (110 kcfm)	3	Mantenimiento mecánico empresa SKANSKA	Ventilación mina – obras civiles	20	Actualmente las puertas no están en funcionamiento por lo cual generan condiciones sub estándares a los trabajadores	2 jul 18 / 22 jul / 18						
5	Señalización de las estaciones principales de ventilación ingresos y salidas de aire	4	Ventilación mina	Validar estándar según la mina	30	Del balance de ventilación mandar a confeccionar letreros según estándar de la mina.	25 jun 18 / 25 jul 18						
6	Adquisición de equipos autorescatador (mínimo 1 hr)	10	Ventilación mina – logística	Evaluación del número de equipos para labores críticas	30	Es importante disponer de equipos auto rescatador en las labores críticas, siendo por lo general en los tajos convencionales.	02 oct 18 / 01 nov 18						
7	Limpieza de finos del Nv 2950 far west	11	Ventilación mina – EE obras civiles	Ventilación mina – servicios mina	50	Esta condición restringe el paso del aire, y asimismo el diseño de registro de finos.	02 oct 18 / 21 nov 18						
8	Hermetizado del by pass del Nv 2950	12	Ventilación mina – EE obras civiles	Ventilación mina – servicios mina	25	Hay una leve recirculación de aire viciado el cual debe ser corregido con material noble y puertas metálicas según diseño.	02 oct 18 / 27 oct 18						
9	Capacitación al personal de operación sobre el uso y manejo de puertas de ventilación	2	Ventilación mina	Ventilación mina	30	El personal en general debe respetar las puertas, cortinas y reguladores de ventilación.	27 jun 18 / 27 jul 18						
10	Edición y reparto de las cartillas de ventilación	13	Ventilación mina	Ventilación mina – seguridad	30	Todo el personal que ingrese a mina, debe conocer los gases tóxicos y medidas correctivas.	06 ago 16 / 5 set 18						
11	Capacitación sobre los estándares de ventilación	9	Ventilación mina	Ventilación mina – capacitación	20	Es necesario capacitar al personal encargado de los trabajos de ventilación.	02 oct 18 / 22 oct 18						
12	Pintado de las puertas de ventilación	14	Mantenimiento mecánico empresa SKANSKA	Ventilación mina	10	Las puertas de ventilación deben ser pintadas de amarillo y negro con cinta reflectiva.	24 ago 18 / 03 set 18						
13	Capacitación sobre las rutas de escape en caso de apagón	8	Ventilación mina	Ventilación mina – planeamiento	20	Es necesario tener en campo zonas de escape.	9 set 18 / 29 set 18						
14	Capacitación sobre explosivos y generación de gases tóxicos en mina	7	Ventilación mina	Ventilación mina – seguridad	30	Se debe capacitar en explosivos al personal de operaciones.	3 ago 18 / 2 set 18						

## CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. CONCLUSIONES

1. La cobertura de ventilación actual es de 67 % con un ingreso total de 450,032 cfm a 1 año, la cobertura será de 106%, con un caudal de ingreso total de 712,865 cfm, para 3 años se tendrá una cobertura de 106% con un caudal de ingreso de 714,309 cfm. Y para la etapa de 5 años, la cobertura será de 109% con un ingreso de caudal de 734,159 cfm.
2. El costo de energía actual es de US\$ 925,709, consumiendo 1,761.2 kw para la etapa de 1 año el costo de energía será de US\$ 1'303,319, con un consumo de 2,480.59 kw, para la etapa de 3 años el costo de energía será de US\$ 1'219,026 y con un consumo de 2,319.3 kw y finalmente para los 5 años, el costo de energía será de US\$ 1'287,143. Con un consumo global de 3,209.9 kw, estos cálculos han sido simulados según las etapas en ventsim.
3. El análisis del costo inversión (CAPEX) para el primer año tiene una inversión total de US\$ 3'328,726, para los 3 años se tendrá una inversión acumulada de US\$ 7'100,633 y para la etapa de 5 años, se estima un costo acumulado de US\$ 10'47,606.
4. Los KPIs del proyecto para la etapa a 1 año es de 1.58 US\$/cfm; para el proyecto etapa a 3 años es de 1.58 US\$/cfm y para el proyecto etapa a 5 años es de 1.49 US\$/cfm.
5. Bajo el circuito proyectado para la etapa a 1 y 3 años se dispondrá en la profundización de la veta Daniela con 200 hombres y 2,462 Hps para equipos diésel, pues se tiene un caudal de 329,358 cfm, logrando una cobertura de 114 y 109% correspondientemente. En la etapa a 5 años, de la cota 2,070 m a 182 m se tiene la opción de trabajar en la profundización de la mina con 200 hombres y una flota de

14 equipos diésel con potencia nominal de 2,462 HPs, puesto que se tiene un caudal de 295,034 cfm. Llegando a una cobertura de 102%.

6. La temperatura en el Nv 2,348 actualmente es de 37°C, y cuando los equipos diésel se detiene, la temperatura disminuye hasta 34°C. al incluir los proyectos del presente informe, la temperatura según el modelo simulado en ventsim a 3 años en promedio es de 24.2 °C, teniendo presencia de picos entre 30 a 33 °C del Nv 2,770 al Nv 2,670. Además, en el modelo simulado a 5 años, la temperatura promedio se regulariza a un promedio de 27 °C, por lo que se concluye que el sistema de ventilación se ve restringida por la falta de nuevos ejes de ingreso y salida de aire del sistema.

7. La gradiente geotérmica del yacimiento de la mina subterránea es de 2.7 °C por cada 100 metros de desarrollo vertical. De no considerarse los proyectos planteados en el presente estudio, el modelo estipula un incremento de 37 °C a 42 °C siendo una mina on muchas dificultades para lograr los objetivos trazados en cada etapa. Limitando la eficiencia del personal y de los equipos diésel, pudiéndose producir paralizaciones de la operación y/o incidentes.

8. La caída de presión del sistema para la condición actual es de 12.96 in.w.g. para mover un caudal de 450,032 cfm, para el proyecto etapa a 1 año es de 14.99 in.w.g. para mover un caudal de 712,865 cfm in.w.g. para mover un caudal de 714,309 cfm y finalmente para el proyecto etapa a 5 años, la caída de presión del sistema se ve reflejada en el modelo en 19 in.w.g. para mover un caudal de 734,159 cfm. Si la curva de resistencia de la mina presenta una caída de presión mayor de 10 se considera una mina difícil de ventilar, generalmente esto se observa en minas convencionales debido al tamaño de la sección promedio; a diferencia de las minas mecanizadas donde sucede lo contrario.

9. Las condiciones limitadas del proyecto han sido identificadas por la sección típica, básicamente por las labores por donde ingresa el aire. Para el caso de la Rampa Patrick I se tiene una sección de 4.0 x 4.5 m, Patrick II se tiene una sección de 3.5 x 3.5 m, y para BM Chilcas de 2.4 x 2.7 m. Se tiene considerado el eje 13 como un ingreso de aire, el cual se encuentra en rehabilitación, por haber sufrido una ampliación de la sección en los niveles superiores (inestabilidad de las paredes) por lo que se sugiere la construcción de chimeneas por el método raise climber, que permite visualizar y aplicar el sostenimiento necesario conforme se va avanzando; mientras que el sistema RB es adecuado cuando la calidad del macizo rocoso supera un valor mayor de 40 según clasificación RMR. La clasificación del macizo rocoso de la mina en cuestión es de 38 según clasificación RMR, menor a lo establecido.
10. Las actividades para la mejora continua son importantes para estandarizar y evitar el gasto de energía innecesaria debido al mal hermetizado, a las fugas o escapes de aire, a la falta de accesorios (difusores en las salidas de las chimeneas a superficie). La actual ubicación de los ventiladores, es adecuada y necesaria por el tema de las comunidades y el impacto ambiental en superficie.
11. El diseño final que obedece para el presente proyecto considera la adquisición de 5 ventiladores principales axiales de alabe variable de 150,000 cfm de 12.5 in.w.g. depresión total a cota de trabajo cuyas potencias son de 387 HP, y uno de 100,000 cfm, cuya presión total es de 12 in.w.g. y una potencia de 254 HP.

#### **4.2. RECOMENDACIONES**

1. El balance de ventilación para el diseño integral del sistema de ventilación proyectada, ha optimizado el uso de los equipos diésel, por lo tanto con la puesta en marcha del pique principal, se ha de optimizar sustancialmente el uso de los medios de transporte de personal y extracción del mineral (volquetes, camionetas, etc.) es recomendable el uso de quipos electrohidráulicos (Scooptrams) pues la demanda de

aire actual representa el 82% para mover un inventario de 5,223 HP y 847 hombres que representan el 18%.

2. Para el diseño de los ejes de ingreso y extracción del aire deben contemplarse una sección mínima o equivalente de 3.5 x 3.5 m para que el sistema de ventilación no incremente la caída de presión de la mina (actual 12.96 in.w.g.) debiendo este valor ser simulado y analizado en forma permanente en todos los proyectos de ventilación con el software ventsim.

3. El incremento de la temperatura en los niveles inferiores a partir del Nv 2770 (según el estudio realizado) se refleja notoriamente un incremento brusco de 5 °C y focalizándose en el Nv 2348 con 35 °C de temperatura promedio. Con el sistema planteado en el presente estudio se podrá bajar en promedio de 3 a 4 °C incrementándose por un lado las velocidades del aire debido a la ejecución de nuevo ejes de salida de aire viciado.

4. Un porcentaje del 20 al 30% de la resistencia está representada por las obstrucciones que se muestran en el campo, siendo éstas la acumulación de materiales, equipos y otros elementos en los circuitos principales de ingreso y salida de aire. Dichas condiciones deberán ser supervisadas por los responsables de la operación, teniendo que retirar o evacuar estas resistencias innecesarias evitando el sobre costo y la inestabilidad operativa de los ventiladores. Esto genera que se incremente la presión y disminuya la potencia del caudal que produce el ventilador.

5. Es necesario reforzar el mantenimiento sistemático del programa establecido, cuyas partes importantes son: el anclaje, la admisión, es decir la saturación de la malla por hollín, el retiro de polvo y detritus que se acumulan en los alabes del rotor los cuales acortan la vida útil del ventilador. La frecuencia del mantenimiento de los equipos está ligada a la acumulación de las partículas finas que se depositan en las

partes móviles del equipo (polvo, hollín, agua, humedad) que colaboran para que el ventilador incremente el nivel de vibración y se descompense sus partes; y es aún más crítico por la poca cantidad de ventiladores de extracción. Es importante la calibración periódica de los alabes y la luz entre el aspa y la carcasa del ventilador, el estado de los alabes y de los cojinetes (rodamientos).

6. Las etapas que plantea el estudio a corto (1 año), mediano (3 años), y largo (5 años) plazo, tendrán que ser desarrolladas de ser posible optimizando los tiempos de ejecución y/o contemplando actividades en paralelo que permitirá al sistema cumplir y/o adelantar los tiempos establecidos, cuyo beneficio económico y valor de oportunidad se verá reflejada en el cumplimiento de las metas, es decir avance en metros lineales (desarrollo de labores horizontales y verticales) y producción. Evitando incidentes de seguridad, mayor consumo de repuestos, deterioro prematuro de los equipos (motor, sistema de inyección). Mejores condiciones laborales (confort del personal) y un incremento de la productividad (disminuir el nivel de estrés térmico).

7. Una de las mayores dificultades del sistema de ventilación de la mina, en estos momentos, son los pocos accesos y salidas del aire que impiden ventilar de forma eficiente y económica, por lo tanto se recomienda incrementar en forma paulatina accesos y salidas según el laboreo (chimeneas de ventilación o cruceros que comuniquen a superficie) y se mantengan los ejes principales de extracción (dar continuidad a las chimeneas de ventilación) teniéndose que utilizar necesariamente ventiladores booster para evitar la sobrepresión de los ventiladores principales, caso contrario se verán afectados los ventiladores propuestos en el presente estudio.

- Agüero, H. (2012). *Influencia de la ventilación natural y mecánica en el diseño del sistema de ventilación de las galerías del NV 195 mina Calpa - Arequipa*. HUANCAVELICA: UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA.
- Álvarez, C., & Benites, C. (2014). *Seguridad basada en el comportamiento*. Madrid: Mc Graw Hill.
- Aponte, E. (2014). *Modificación e implementación del sistema de ventilación de la unidad minera Cobriza zona norte (área coris)*. Lima: UNI.
- CARABAJO, C. (2015). *Diseño del circuito de ventilación de la zona norte de la mina cabo de hornos, ubicada en el distrito aurífero polimetálico Portovelo, Zaruma*.
- Chacha, D. (2016). *Sistema de ventilación para labores subterráneas de la empresa PRODUMIN S.A. Macas - Ecuador: Universidad del Chimborazo*.
- García, E. (2016). *Evaluación de la situación actual del sistema de ventilación y propuesta para su optimización en mina subterránea carbonífera mi Grimaldina I - Cajamarca 2016*. Trujillo: UPN.
- Godoy, A. (2013). *Mejora del circuito de ventilación en unidad minera Arcata mediante la ejecución del Raise Borin # 90*. Lima: UNI.
- Guevara, I. (2018). *Evaluación y propuesta del sistema de ventilación en el sub nivel 058 en mina Troy SAC - Cajamarca 2018*. Trujillo: UPN.
- Guillén, c. (2016). *Optimización del sistema de ventilación aplicando tecnologías informáticas minera hemco - Nicaragua*. Lima: UNI.
- Guizábalo, J. (2017). *Modelamiento predictivo del flujo de aire para la optimización del sistema de ventilación en el nivel 4093 de la unidad minera Santa Bárbara en Trujillo*. Trujillo: UNT.
- MINEM. (2017). *REGLAMENTO DE SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL EN MINERÍA*. Lima: ISEM.

- Oyola, h. (2013). *Diseño de ventilación en profundización de mina*. Lima: UNI.
- Ponciano, O. (2016). *Estudio de ventilación del proyecto de explotación minera invicta - Huaura*. 2016: UNI.
- Quispe, H. (2017). *Evaluación y optimización de la ventilación en la mina Uchucchacua*. Huancayo: Universidad continental.
- Vergaray, R. (2017). *Optimización del sistema de ventilación de la mina Charito, CIA minera Poderosa*. Trujillo: UNT.

## CAPÍTULO 6. ANEXOS

## 1. NOMENCLATURA

- **Cfm:** Pies cúbicos por minuto, indica el flujo de aire que pasa por un punto estacionario en un minuto.
- **m<sup>3</sup>/s:** Metro cúbicos por segundo. Indica el flujo de aire, que pasa por un punto estacionario en un segundo  
$$1 \text{ m}^3/\text{s} = 60 \text{ m}^3/\text{min} = 2,118.88 \text{ cfm}$$
- **HP:** Caballaje de fuerza (horse power) potencia desarrollada por el motor.
- **KW:** Kilowatt, unidad de potencia que desarrolla el ventilador  
$$\text{HP} = 0.746 \text{ KW}$$
- **C.A:** unidad de presión, igual a la presión ejercida por una columna de agua de una pulgada de altura a temperatura estándar.
- **XC:** Crucero, obra minera subterránea que se desarrolla para intersectar una veta.
- **RP:** Rampa, labores de acceso de equipos, a interior Mina desde la superficie o entre los niveles. Une labores horizontales de diferentes cotas o profundidades, permitiendo la extracción del mineral por medios rápidos.
- **RC:** Raise climber, es un método de perforación para chimeneas verticales que conecta un nivel inferior con otro superior.
- **RB:** Raise boring, Es un método de perforación vertical, que conecta un nivel superior con otro inferior, es más rápido y costoso que el RC.
- **BM:** Bocamina, inicia en la superficie de cualquier nivel, ingreso a mina.

- **BP:** by pass, es una labor, cuya función específica es la de servir como medio para el transporte del mineral, es de común aplicación en minas metálicas.

## 2. TERMINOLOGÍA

- **Presión estática:** Es la presión potencial ejercida en todas direcciones por un fluido en reposo. Para un fluido en movimiento se mide en dirección perpendicular a la del flujo, tendencia a dilatar o colapsar al ducto.
- **Presión dinámica:** Es la presión cinética en la dirección del flujo necesaria para hacer que un fluido en reposo fluya a una determinada velocidad.
- **Presión total:** Suma algebraica de las presiones estáticas y dinámicas. Los resultados se expresarán en unidades inglesas pulgadas de columna de agua (“CA”)
- **Factor de corrección por densidad:** Es el cociente entre la densidad real de aire en faena y la densidad del aire estándar.
- **Aerodinámico:** Objeto cuya forma ofrece poca resistencia al aire.

### 3. CÁLCULO DE REQUERIMIENTOS

#### 3.1. Caudal de requerimiento para personal

PLANILLA	EMPRESA	TOTAL/Gd	CAUDAL		%
			m3/min	cfm	
CIA y EE	ALFA	95	380	13 420	11.1%
	COMILUZ	150	600	21 189	17.5%
	TAURO	106	424	14 974	12.3%
	LOS ANDES	114	456	16 104	13.3%
	MINCOTRALL	88	352	12 431	10.2%
	CANCER	80	320	11 301	9.3%
	GEOLOGÍA MINERA	50	200	8 829	7.3%
	TRANSPORTE	6	24	848	0.7%
	SKANSKA	40	160	5 650	4.7%
	COMPAÑÍA	20	80	2 825	2.3%
	HIGH POWER	3	12	424	0.3%
	R/H	35	140	4 944	4.1%
	CONSEM	10	40	1413	1.2%
	SUBTERRÁNEA	4	16	565	0.5%
	CONINSA	12	48	1 695	1.4%
GEOTECNIA	9	36	1 271	1.0%	
<b>Sub – total</b>		<b>822</b>	<b>3288</b>	<b>116 114</b>	<b>97%</b>
<b>FLOTANTES 3%</b>		<b>25</b>	<b>100</b>	<b>3 532</b>	<b>3%</b>
<b>TOTAL</b>		<b>847</b>	<b>3 388</b>	<b>121 413</b>	<b>100%</b>

### 3.2.Caudal requerido para equipos diésel

EQUIPOS	CANT.	POT. NOM. HP	F.A. (Ni/Nio)	POT. EFECT. HP	CAUDAL REQ. (m3/min)	CAUDAL REQ. (CFM)
Volquetes	4	480	0.84	1,613	4,838	170,868
Grúas	2	120	0.84	202	605	21,359
Camioncitos	7	140	0.84	823	2,470	87,214
Camionetas	10	138	0.84	1,159	3,478	122,811
Scooptram de 6 yd3	1	270	0.84	227	680	24,028
Scooptram de 4 yd3	1	190	0.84	160	479	16,909
Telehandler	1	100	0.84	84	252	8,899
Microscooptram de 0.75 yd3	3	44	0.84	111	333	11,747
Scooptram de 2.2 yd3	4	96	0.84	323	968	34,174
Minicat	1	74	0.84	62	186	6,586
Mixer mixkret #03	1	174	0.84	146	438	15,485
Transmixer	1	75	0.84	63	189	6,675
Lanzador de concreto	1	75	0.84	63	189	6,675
Jumbo boomer S1D	1	74	0.84	62	186	6,586
Bus línea	1	150	0.84	126	378	13,349
<b>TOTALES</b>	<b>39</b>	<b>2,200</b>		<b>5,223</b>	<b>15,669</b>	<b>553,363</b>

### 3.3.Balance de requerimiento de caudales

Caudal	m3/s	m3/min	Cfm	% Dist.
Q1=PERSONA	57	3,438	121,413	18
Q2=Equipos diésel	261	15,669	553,363	82
Total	318	19,107	674,776	100

### 3.4. Balance total de aire

Cobertura de aire	m3/s	m3/min	cfm
Qi: Caudal de ingreso	212.4	12,743	450,032
Qs: Caudal de salida	2333.4	14,003	494,505
Balance (Qs – Qi)	21.0	1,259	44,474
Qr: Caudal requerido	318.5	19,107	674,776
Cobertura	67%		
Deficit	33%		
	224,745 cfm		

## 4. BALANCE Y COBERTURA DE AIRE PROYECTADO A CORTO (1 AÑO), MEDIANO (3 AÑOS) Y LARGO (5 AÑOS) PLAZO.

### 4.1. Cobertura de aire proyectado a corto, mediano y largo plazo

Teniendo en cuenta de que el requerimiento se mantiene de la siguiente manera para el corto, mediano y largo plazo.

Caudal	m3/s	m3/min	Cfm	% Dist.
Q1=PERSONA	57	3,438	121,413	18
Q2=Equipos diésel	261	15,669	553,363	82
Total	318	19,107	674,776	100

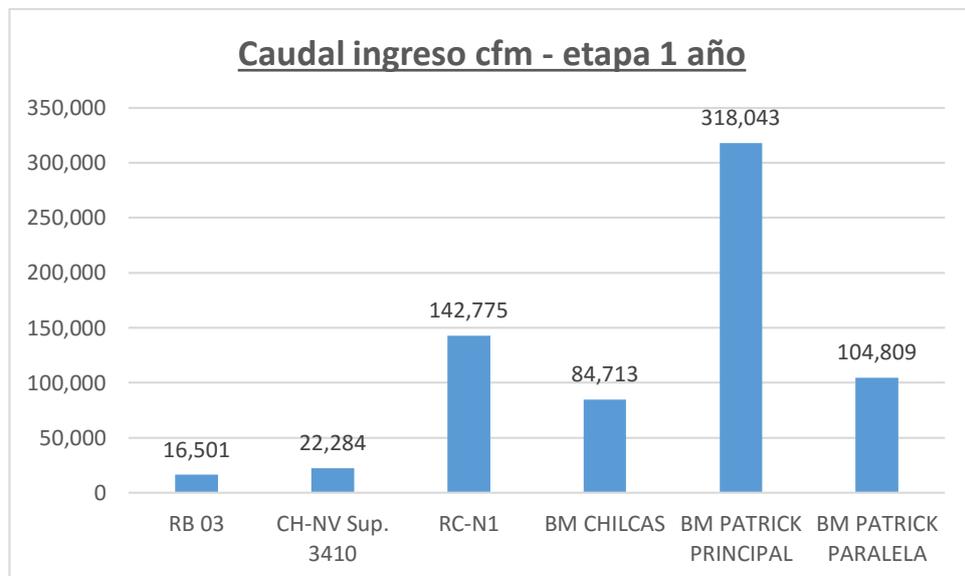
### 4.2. Cobertura de aire proyectado a corto plazo – 1 año

Balance total de aire		
Caudal de aire	m <sup>3</sup> /min	cfm
Total de aire requerido	19,107	674,776
Ingreso de aire a mina	19,795	699,044
Salida de aire	20,484	723,403
Cobertura %	104	
Superávit (cfm)	24,268	

#### 4.3. Ingresos de aire proyectado a corto plazo – 1 año

Labor	Cantidad	Velocidad
Ingresos	Cfm	m/min
RB 03	16,501	183.6
CH-NV Sup. 3410	22,284	203.6
RC-N1	142,775	449.2
BM CHILCAS	84,713	382.1
BM PATRICK PRINCIPAL	318,043	533.7
BM PATRICK PARALELA	104,809	258.4
<b>TOTAL</b>	<b>689,125</b>	

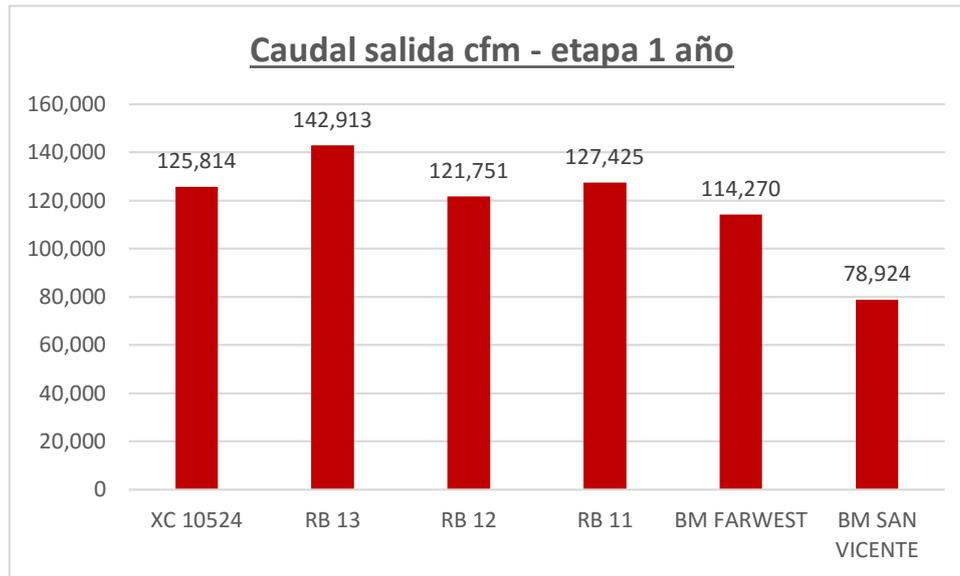
#### 4.4. Ingresos de aire proyectado a corto plazo – 1 año



#### 4.5. Salidas de aire proyectado a corto plazo – 1 año

Labor	Cantidad	Velocidad
Salidas	Cfm	m/min
XC 10524	125,814	586.4
RB 13	142,913	894.5
RB 12	121,751	762.1
RB 11	127,425	949.2
BM FARWEST	114,270	448.2
BM SAN VICENTE	78,924	293.6
<b>TOTAL</b>	<b>711,097</b>	

#### 4.6. Salidas de aire proyectado a corto plazo – 1 año



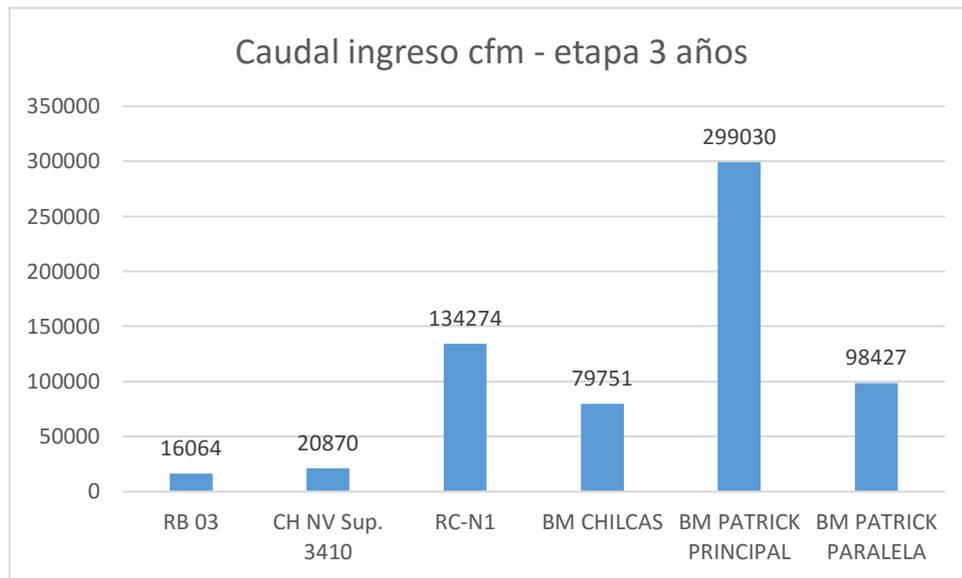
#### 4.7. Cobertura de aire proyectado a mediano plazo – 3 años

Caudal de aire	m <sup>3</sup> /min	Cfm
Total de aire requerido	19,107	674,776
Ingreso de aire a mina	19,210	678,418
Salida de aire	19,953	704,632
<b>Cobertura (%)</b>	<b>101</b>	
<b>Superávit</b>	<b>3,642</b>	
*No se considera el requerimiento de voladura		

#### 4.8. Ingreso de aire proyectado a mediano plazo – 3 años

Labor	Cantidad	Velocidad
Ingresos	Cfm	m/min
RB 03	16,064	178.8
CH NV Sup. 3410	20,870	190.6
RC-N1	134,274	422.5
BM CHILCAS	79,751	359.7
BM PATRICK PRINCIPAL	299,030	501.8
BM PATRICK PARALELA	98,427	242.7
<b>TOTAL</b>	<b>648,416</b>	

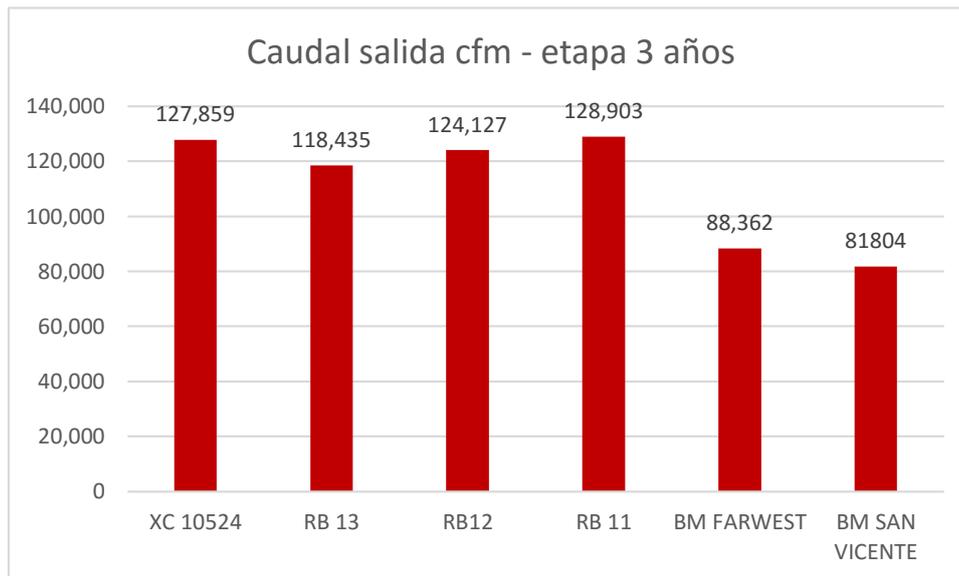
#### 4.9. Ingreso de aire proyectado a mediano plazo – 3 años



#### 4.10. Salidas de aire proyectado a mediano plazo – 3 años

Labor	Cantidad	Velocidad
Ingresos	Cfm	m/min
XC 10524	127,859	596
RB 13	118,435	741.3
RB12	124,127	777
RB 11	128,903	960.2
BM FARWEST	88,362	346.6
BM SAN VICENTE	81804	304.3
<b>TOTAL</b>	<b>669,490</b>	

#### 4.11. Salidas de aire proyectado a mediano plazo – 3 años



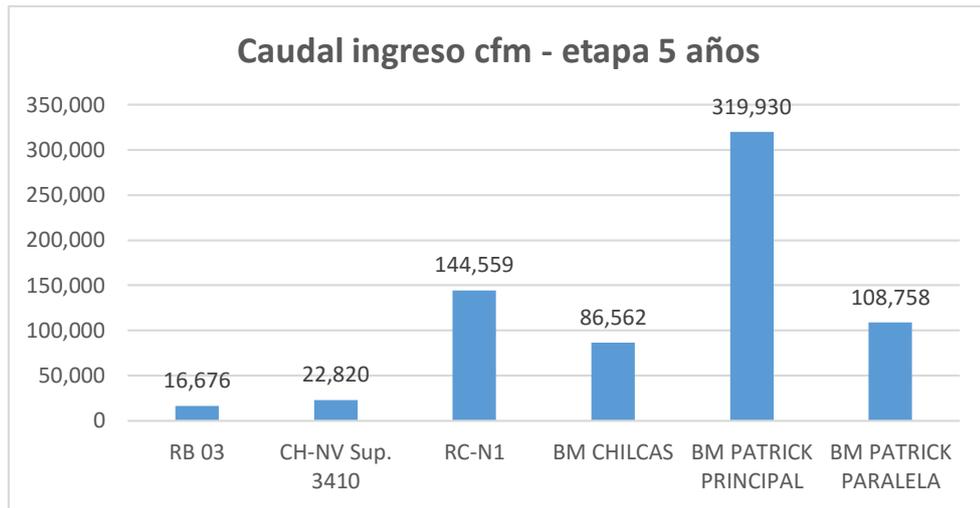
#### 4.12. Cobertura de aire proyectado a largo plazo – 5 años

Caudal de aire	m <sup>3</sup> /min	Cfm
Total de aire requerido	19,107	674,776
Ingreso de aire a mina	19,346	683,194
Salida de aire	20,296	716,743
<b>Cobertura (%)</b>	<b>101</b>	
<b>Superávit</b>	<b>8,418</b>	
*No se considera el requerimiento de voladura		

#### 4.13. Ingreso de aire proyectado a largo plazo – 5 años

Labor	Cantidad	Velocidad
Ingresos	Cfm	m/min
RB 03	16,676	185.6
CH-NV Sup. 3410	22,820	208.4
RC-N1	144,559	454.8
BM CHILCAS	86,562	390.5
BM PATRICK PRINCIPAL	319,930	536.8
BM PATRICK PARALELA	108,758	268.2
<b>TOTAL</b>	<b>669,305</b>	

#### 4.14. Ingreso de aire proyectado a largo plazo – 5 años



#### 4.15. Cobertura de aire proyectado a largo plazo – 5 años

Labor	Cantidad	Velocidad
Salidas	Cfm	m/min
XC 10524	128,544	599.2
RB 13	173,195	1084.1
RB12	123,295	771.7
RB 11	128,387	956.4
BM FARWEST	87,097	341.6
BM SAN VICENTE	82,997	308.7
<b>TOTAL</b>	<b>723,515</b>	

#### 4.16. Cobertura de aire proyectado a largo plazo – 5 años

