

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA



TESIS

“MEJORAMIENTO DE LA GESTIÓN DE VENTILACIÓN Y  
LAS CONDICIONES TERMOAMBIENTALES EN  
MINAS SUBTERRANEAS”

PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN  
GESTIÓN MINERA

ELABORADO POR:  
MANUEL MARCIAL MUÑOZ BERNARDO

ASESOR  
M.Sc. Ing. JOSÉ ANTONIO CORIMANYA MAURICIO

LIMA – PERÚ  
2024

### **DEDICATORIA**

Este trabajo de TESIS está dedicado a todas las personas que creyeron que podría lograr y cumplir mis metas trazadas a pesar de todas las dificultades que existen en el camino.

A mis padres Marcial y Florentina, a mi esposa Jessica y mis princesas Celeste y Estrella a todas las personas que me inculcaron que la vida es una constante superación y sacrificio.

### **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, a Dios por regalarme esta oportunidad, a mis profesores de Maestría en Gestión Minera de la Universidad Nacional de Ingeniería, por sus enseñanzas y consejos para seguir superándome.

Agradezco también a mi tutor, por su dedicación y orientación en todo momento.

Un agradecimiento especial a mi padre Marcial Muñoz por sus sabios consejos y mamá Florentina Bernardo de quienes he aprendido conocer los valores como respeto, puntualidad y disciplina. Finalmente, a mi esposa Jessica Ore y a mis hijas Celeste y Estrella; quienes me apoyaron en todo instante.

## ÍNDICE

<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>II</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>III</b>
<b>ÍNDICE.....</b>	<b>IV</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>VIII</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>XII</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>XIV</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>XV</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>16</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>17</b>
<b>GENERALIDADES</b>	
1.1.    Antecedentes Bibliográficos .....	17
1.2.    Descripción de la realidad problemática .....	23
1.3.    Formulación del Problema.....	27
1.3.1.    Problema General.....	27
1.3.2.    Problema Específico .....	27
1.4.    Justificación e Importancia de la Investigación .....	27
1.4.1.    Justificación Teórica .....	27
1.4.2.    Justificación Práctica.....	28
1.4.3.    Justificación Legal .....	28
1.4.4.    Justificación Personal.....	28
1.5.    Objetivos .....	28
1.5.1.    Objetivo General .....	28
1.5.2.    Objetivo Específico.....	28
1.6.    Hipótesis.....	29
1.6.1.    Hipótesis General.....	29
1.6.2.    Hipótesis Específica.....	29
1.7.    Variables e Indicadores .....	30
1.8.    Operacionalización de Variables .....	30
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>33</b>
<b>MARCO TEÓRICO Y MARCO CONCEPTUAL</b>	
2.1    Bases Teóricas .....	33

2.1.1	Gestión en Ventilación Minera .....	33
2.1.2	Ventilación minera.....	35
2.1.3	Condiciones Termo ambientales .....	40
2.2	Marco Conceptual .....	41
<b>CAPÍTULO III .....</b>		<b>45</b>
<b>METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN</b>		
3.1	Método de Investigación.....	45
3.2	Tipo de Investigación .....	45
3.3	Nivel de Investigación .....	45
3.4	Diseño de Investigación.....	45
3.5	Población y Muestra .....	46
3.6	Fuentes de Recolección de Datos .....	46
3.7	Técnicas e Instrumentos para Recolección de Datos .....	47
3.8	Validación y Confiabilidad de los Instrumentos .....	48
3.9	Métodos y Técnicas Para la Presentación y Análisis de Datos .....	51
3.10	Mejoramiento de la Gestión de Ventilación y las Condiciones Termo Ambientales en Minas Subterráneas .....	53
3.11	Demanda de Aire Fresco .....	54
3.11.1	Introducción.....	54
3.11.2	Datos de Entrada.....	54
3.11.3	Benchmark.....	75
3.11.4	Resultados y Discusión .....	76
3.12	Validación del Modelo Real .....	77
3.12.1	Introducción.....	77
3.12.2	Revisión de los Parámetros del Ventsim .....	78
3.12.3	Parámetros de Calor de los Estratos .....	80
3.12.4	Resultados y Discusión .....	82
3.13	Aspectos de Seguridad y Salud Ocupacional en Ventilación de Minas Subterráneas .	82
3.13.1	Introducción.....	82
3.13.2	Aspecto de Seguridad de Salud Ocupacional .....	82
3.13.3	Riesgos Asociados a una Ventilación Inadecuada.....	83
3.13.4	Medidas Preventivas y Correctivas .....	84
3.13.5	Normativas y Regulaciones.....	85

**CAPÍTULO IV..... 87****RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN**

4.1	Dimensionamiento Principal de ventilación .....	87
4.1.1	Introducción .....	87
4.1.2	Datos de Entrada .....	88
4.1.3	Resultados y Discusión .....	95
4.2	Modelamiento del Sistema de Ventilación .....	99
4.2.1	Análisis de la ventilación del LOM.....	100
4.2.2	OB 5B Diseño Largo Plazo 2023 – 2030 .....	104
4.2.3	OB 2 Diseño Largo – Plazo 2023 – 2030.....	106
4.2.4	OB 2B Diseño Largo – Plazo 2023 – 2030 .....	108
4.2.5	OB 6A Diseño Largo – Plazo 2023 – 2030.....	110
4.2.6	Resumen de Infraestructura.....	112
4.2.7	Diagrama Esquemático de los Sectores del Estudio .....	113
4.3	Lista de Ventiladores .....	114
4.3.1	Introducción .....	114
4.3.2	Lista de Ventiladores .....	114
4.3.3	Ubicación de Ventiladores .....	116
4.3.4	Discusión sobre el Procedimiento de Modelado de Ventiladores.....	116
4.3.5	Análisis de la Capacidad del Ventilador .....	120
4.3.6	Análisis de la Padronización del Ventilador.....	121
4.4	Consumo de Energía - LOM.....	122
4.4.1	Introducción .....	122
4.4.2	Consumo de Energía para el Caso-Base.....	123
4.4.3	Ajuste de acuerdo con el Plan de Mina .....	123
4.4.4	Estimación de consumo y de Costo.....	124
4.5	Simulación y Buenas Prácticas para Caso de Incendios.....	126
4.5.1	Sumario Ejecutivo.....	127
4.5.2	Características de Incendio .....	129
4.5.3	Simulaciones de Incendio .....	130
4.5.4	Rutas de Escape .....	143
4.5.5	Planos de Escape.....	150
4.5.6	Programa de Ventilación de la Mina .....	152
4.6	Análisis de la Ventilación Auxiliar .....	158

4.6.1	Introducción.....	158
4.6.2	Teoría.....	159
4.6.3	Parámetros de Entrada .....	166
4.6.4	Resultados y Discusiones.....	169
<b>CONCLUSIONES .....</b>		<b>171</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>		<b>173</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>		<b>174</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>177</b>
<b>ANEXO 1 MATRIZ DE CONSISTENCIA.....</b>		<b>178</b>
<b>ANEXO 2 B BELLE (2012).....</b>		<b>179</b>
<b>ANEXO 3 PLANO ISOMETRICO DE LA UNIDAD.....</b>		<b>179</b>
<b>ANEXO 4 PLANO ISOMETRICO DE LA UNIDAD.....</b>		<b>180</b>
<b>ANEXO 5 ESTIMACIÓN DE ENERGÍA CONSUMIDA .....</b>		<b>180</b>
<b>ANEXO 6 LETRERO "PROHIBIDO EL INGRESO .....</b>		<b>181</b>
<b>ANEXO 7 INSPECCION DE AREA DE TRABAJO.....</b>		<b>181</b>
<b>ANEXO 8 OTROS.....</b>		<b>182</b>
<b>ANEXO 9 CURRICULUM VITAE.....</b>		<b>183</b>

## INDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 <i>Certificado de Calibración Testo 400 – 1</i> .....	49
Figura 3.2 <i>Certificado de Calibración Testo 400 – 2</i> .....	50
Figura 3.3 <i>Flujograma de Requisitos de Aire Fresco</i> .....	54
Figura 3.4 <i>Cálculo del Requerimiento de Aire Fresco Para los Equipos</i> .....	55
Figura 3.5 <i>Valores de Utilización Efectivo, Valores Típicos y Recomendación</i> .....	56
Figura 3.6 <i>Caudal de Aire Requerido con los Valores de Utilización Propuestos</i> .....	56
Figura 3.7 <i>Benchmark de Aire Fresco Fornecido a Minas en Actividad</i> .....	75
Figura 3.8 <i>Diferencia de Cálculo de Caudal Unidad Minera y Propuesta Tesista</i> .....	77
Figura 4.1 <i>Artículo N°248 del Decreto Peruano DS-024-2016</i> .....	88
Figura 4.2 <i>Artículo N°411C del Decreto Peruano DS-024-2016</i> .....	88
Figura 4.3 <i>Máximas Velocidades Sugeridas en Labores</i> .....	92
Figura 4.4 <i>Ejemplo de la Determinación Gráfica del Tamaño de la Chimenea Usando Método Financiero</i> .....	94
Figura 4.5 <i>Ch. Inyección (izquierda) y Ch. Extracción (derecha) Para ser Desarrollada en</i> .....	95
Figura 4.6 <i>Tamaño Óptimo de Chimenea de Inyección</i> .....	97
Figura 4.7 <i>Tamaño Óptimo de Chimenea de Extracción</i> .....	99
Figura 4.8 <i>Plan que Muestra Nuevas Áreas en la Unidad Minera</i> .....	102
Figura 4.9 <i>OB2B – Diseño Unidad Minera</i> .....	102
Figura 4.10 <i>OB2B – Esquemático de la Unidad Minera</i> .....	103
Figura 4.11 <i>OB2B – Diseño Propuesto</i> .....	103
Figura 4.12 <i>OB2B – Esquema Propuesta</i> .....	104
Figura 4.13 <i>OB5B – Diseño Propuesto</i> .....	105
Figura 4.14 <i>OB5B – Esquema Propuesta</i> .....	105
Figura 4.15 <i>OB2 – Diseño Propuesto</i> .....	107
Figura 4.16 <i>OB2 – Esquema Propuesta</i> .....	107

Figura 4.17 <i>OB2B – Diseño Propuesto</i> .....	108
Figura 4.18 <i>OB2 – Esquema Propuesta</i> .....	109
Figura 4.19 <i>OB6A – Diseño Propuesto</i> .....	110
Figura 4.20 <i>OB6A – Esquema Propuesta</i> .....	111
Figura 4.21 <i>Esquema de los Sectores del Estudio</i> .....	113
Figura 4.22 <i>Presenta la Ubicación de los Ventiladores Analizados en la Sección anterior</i> .....	116
Figura 4.23 <i>Comparativo de Ventilador Howden y Zitron</i> .....	117
Figura 4.24 <i>Comparativo de Ventilador Airtec</i> .....	117
Figura 4.25 <i>Ejemplo de Práctica no Recomendada en el Modelo de Unidad</i> .....	118
Figura 4.26 <i>Practica de Mejora Para Ajuste de la Curva</i> .....	118
Figura 4.27 <i>Imagen de Ventilador y Puntos de Tomas de Presiones de Ventiladores</i> .....	119
Figura 4.28 <i>Análisis de Presión de Ventiladores en los Años 2023 y 2030, Adicionando Nuevos Ventiladores</i> .....	120
Figura 4.29 <i>Ejemplo de Capacidad del Ventilador en Términos de Presión</i> .....	121
Figura 4.30 <i>Intervalo de Operación Requerida Para los Ventiladores</i> .....	122
Figura 4.31 <i>Cuadro de Estimación de Energía Consumida</i> .....	126
Figura 4.32 <i>Configuración de VentFire</i> .....	131
Figura 4.33 <i>Vista en Planta de Nv 1740 Después de 40 min de Fuego</i> .....	132
Figura 4.34 <i>Vista Hacia el Suroeste de Nv 1940 a Nv 1600 Después de 40 min de Incendio</i> .....	133
Figura 4.35 <i>Vista Hacia el Suroeste de Nv 1940 a Nv 1600 Después de 80 min de Incendio (solo en las áreas afectadas)</i> .....	133
Figura 4.36 <i>Vista en Planta Nv 1740 Después de 7 Horas de Incendio</i> .....	134
Figura 4.37 <i>Desarrollo Minero Mirando al Norte</i> .....	135
Figura 4.38 <i>Desarrollo Minero en Vista en Planta</i> .....	135
Figura 4.39 <i>Vista Hacia el Norte de Nv 1940 a Nv 1620 Después de 40 min de Incendio (solo en las áreas afectadas)</i> .....	136

Figura 4.40 Vista Desde el Suroeste de Nv 1940 a Nv 1600 Después de 80 min de Incendio (solo en las áreas afectadas).....	137
Figura 4.41 Vista en Planta Nv 1650 Después de 7 Horas de Incendio .....	138
Figura 4.42 Desarrollo de la Mina en Vista en Planta.....	139
Figura 4.43 Desarrollo de la Mina Mirando Hacia el Norte .....	139
Figura 4.44 Vista Desde el Norte de Nv 1650 a Nv 1600 Después de 40 min de Incendio (solo en las áreas afectadas).....	140
Figura 4.45 Vista Desde el Nordeste de Nv 1940 a Nv 1600 Después de 80 min de Incendio.....	141
Figura 4.46 Desarrollo de la Mina Mirando Hacia el Norte .....	142
Figura 4.47 Desarrollo de la Mina en Vista en Planta.....	143
Figura 4.48 Ruta de Escape de Nv 1740 .....	143
Figura 4.49 Ruta de Escape de Nv 1640 .....	144
Figura 4.50 Ruta de Escape de Nv 1940 .....	145
Figura 4.51 Ruta de Escape de Nv 1650 .....	145
Figura 4.52 Ruta de Escape de Nv 1850 .....	146
Figura 4.53 Ruta de Escape de Nv 1710 .....	147
Figura 4.54 Ruta de Escape de Nv 1600 .....	147
Figura 4.55 Ruta de Escape de Nv 1600 .....	148
Figura 4.56 Ruta de Escape de Nv 1710 .....	149
Figura 4.57 Ruta de Escape de Nv 1910 .....	149
Figura 4.58 Ejemplo de Plan de Nivel de Emergencia de la Mina .....	151
Figura 4.59 Ejemplo de Mapeo de Ventilación .....	153
Figura 4.60 Labores Vs Concentración de CO .....	157
Figura 4.61 Labores Vs Concentración de T° C.....	158
Figura 4.62 Perdida de Choque Para Curva de 90° en Ducto Circular.....	161
Figura 4.63 Coeficiente de Pérdida de Choque Para Curvas de Distintos Ángulos.....	161

Figura 4.64 <i>Perdida de Carga en Uniones Para Vías Aéreas Circulares</i> .....	162
Figura 4.65 <i>Dimensiones de R2900 LHD</i> .....	167
Figura 4.66 <i>Frente de Trabajo de Nv 1770 con Recuadro Presentando R2900 LHD y un Ducto Simple de 1.25 m</i> .....	168

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 <i>Variable N°1 Mejoramiento de la Gestión de Ventilación</i> .....	31
Tabla 1.2 <i>Variable N° 2 Condiciones Termo Ambientales en Minas Subterráneas</i> .....	32
Tabla 3.1 <i>Flota Unida Minera – Disponibilidad % (Dm)</i> .....	57
Tabla 3.2 <i>Flota de la Unidad Minera – Utilización % (Fu)</i> .....	60
Tabla 3.3 <i>Flota Unidad Minera – Capacidad Efectiva de Potencia % (HP)</i> .....	63
Tabla 3.4 <i>Requerimiento Total de Aire – Unidad Minera</i> .....	66
Tabla 3.5 <i>Requerimiento de Aire para Personal de la Unidad Minera y Contratistas por guardia (QTr)</i> . ..	69
Tabla 3.6 <i>Caudal de Requerido por Temperatura en las Labores de Trabajo (QTe)</i> .....	71
Tabla 3.7 <i>Caudal de Requerido por Fugas (QFu)</i> .....	72
Tabla 3.8 <i>Definiciones de Contingencia</i> .....	73
Tabla 3.9 <i>Caudal de Requerido por Fugas con Propuestas del Tesista (QFu)</i> .....	74
Tabla 3.10 <i>Ventilación Total Necesaria – Unidad Minera (2023 a 2030)</i> .....	74
Tabla 3.11 <i>Demanda de Caudal de la Unidad Minera (2023 a 2030)</i> .....	76
Tabla 3.12 <i>Verificación Básica del Modelo Ventsim</i> .....	78
Tabla 3.13 <i>Parámetros de Modelamiento de Calor</i> .....	81
Tabla 3.14 <i>Definiciones de Tipo de Conducto de Aire</i> .....	81
Tabla 4.1 <i>Parámetros de Entrada para Cálculo de la Demanda de Flujos en Frentes de Desarrollo</i> .....	91
Tabla 4.2 <i>Parámetros de Costos Operacional</i> .....	93
Tabla 4.3 <i>Parámetros de Costos de Capital</i> .....	93
Tabla 4.4 <i>Parámetros de Entrada Opex de Chimenea de Aire Fresco</i> .....	96
Tabla 4.5 <i>Parámetros de Entrada de Capex del Aire Fresco en Chimenea</i> .....	96
Tabla 4.6 <i>Parámetros de Entrada Opex de Chimenea de Extracción</i> .....	98
Tabla 4.7 <i>Parámetros de Entrada de Capex de la Chimenea de Extracción</i> .....	98
Tabla 4.8 <i>División de la Mina en Diferentes Obras x Año</i> .....	101

Tabla 4.9 <i>OB5B – Demanda de Flujo Aproximado del Modelo Ventsim</i> .....	104
Tabla 4.10 <i>Infraestructuras en OB5B</i> .....	106
Tabla 4.11 <i>OB2 – Demanda de Flujo Aproximado del Modelo Ventsim</i> .....	106
Tabla 4.12 <i>OB2B – Demanda de Flujo Aproximado del Modelo Ventsim</i> .....	108
Tabla 4.13 <i>Especificaciones de Ventilador en OB 2B</i> .....	109
Tabla 4.14 <i>Infraestructuras en OB 2B</i> .....	110
Tabla 4.15 <i>Demanda de Flujo Aproximado del Modelo Ventsim</i> .....	110
Tabla 4.16 <i>Especificaciones de Ventilador en OB 6A</i> .....	111
Tabla 4.17 <i>Infraestructura OB 6 A</i> .....	112
Tabla 4.18 <i>Reguladores Automáticos</i> .....	112
Tabla 4.19 <i>Lista de Ventiladores Existentes de la Unidad Minera</i> .....	114
Tabla 4.20 <i>Lista de Ventiladores a ser Adquiridos de la Unidad Minera</i> .....	115
Tabla 4.21 <i>Potencia Nominal x Potencia Real de los Ventiladores</i> .....	123
Tabla 4.22 <i>Potencia Nominal x Potencia Real de los ventiladores</i> .....	124
Tabla 4.23 <i>Estimación de Consumo (KW) de los Ventiladores al Año-Caso-Base</i> .....	124
Tabla 4.24 <i>Estimación de Energía Consumida (KWh) de los Ventiladores al Año-Caso-Base</i> .....	125
Tabla 4.25 <i>Precio de la energía eléctrica para la Unidad Minera</i> .....	125
Tabla 4.26 <i>Estimación del Costo de Energía Consumida (BRL) de los Ventiladores al Año-Caso-Base</i>	125
Tabla 4.27 <i>Sumario de Combustible de fuego</i> .....	129
Tabla 4.28 <i>Sumario de Etapas de Incendio</i> .....	130
Tabla 4.29 <i>Parámetros de Análisis de Ducto Auxiliar de Ventilación</i> .....	169
Tabla 4.30 <i>Presión de ventilador, consumo eléctrico y COV para arreglos de ducto simples y paralelo</i> <i>(Qface = 28.2 m<sup>3</sup>/s)</i> .....	170

## RESUMEN

En la actualidad la minería subterránea es una industria vital para el progreso del país, ya que suministra materias primas para numerosas actividades industriales, pero a su vez tiene un impacto considerable en el medio ambiente y la salud de los trabajadores. Sin embargo, es fundamental abordar la problemática de las alteraciones termo-ambientales que podrían afectar la salud, eficiencia personal, performance de los equipos y los costos, siendo indispensable una adecuada gestión de ventilación. Objetivo determinar la influencia del Mejoramiento de la Gestión de Ventilación y las condiciones Termo-Ambientales en una mina Subterránea. Diseño de la investigación experimental, tipo aplicativo, nivel explicativo, enfoque cuantitativo, la población está conformada por una mina en el sur del país, la muestra conformada por controles de las actividades del proceso del sistema de ventilación en la unidad minera. Los resultados lograron el mejoramiento de la gestión en ventilación minera en un 100%, utilizando la metodología de diseño, software Ventsim y metodología de valuación. Se concluye que las alteraciones termo-ambientales disminuyeron con el mejoramiento, organización y control de la ventilación minera.

**Palabras claves:** Gestión, ventilación, condiciones termo-ambientales, mina subterránea.

## ABSTRACT

Currently, subway mining is a vital industry for the country's progress, since it supplies raw materials for numerous industrial activities, but at the same time it has a considerable impact on the environment and workers' health. However, it is essential to address the problem of thermo-environmental disturbances that could affect health, personal efficiency, equipment performance and costs, being indispensable an adequate ventilation management. Objective: To determine the influence of the improvement of ventilation management and the thermo-environmental conditions in a subway mine. Design of the experimental research, applicative type, explanatory level, quantitative approach, the population is conformed by a mine in the south of the country, the sample is conformed by controls of the activities of the process of the ventilation system in the mining unit. The results achieved the improvement of the mine ventilation management in 100%, using the design methodology, Ventsim software and valuation methodology. It is concluded that the thermo-environmental disturbances decreased with the improvement, organization and control of mine ventilation.

Key words: Management, ventilation, thermo-environmental conditions, subway mine.

## INTRODUCCIÓN

La industria minera a pequeña, mediana y gran escala en nuestro país, está en un constante crecimiento, innovando en nuevas tecnologías con el fin de obtener una mayor productividad a menores costos y gastos operacionales, en los diferentes procesos que se realizan: perforación, voladura, carga y transporte del mineral. Tanto los sistemas de ventilación como el bombeo son fundamentales para el desarrollo productivo en las empresas mineras al igual que otros procesos.

Sin embargo, las condiciones termo-ambientales es de vital importancia en donde se sugiere un enfoque integral para mejorar la gestión de la circulación del aire y las condiciones térmicas en estos entornos desafiantes. El objetivo principal es optimizar los parámetros de velocidad del aire, la calidad del aire como diluir o evacuar los gases contaminantes del aire (CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>), el control de la temperatura y otros factores ambientales para garantizar entornos laborales más seguros, saludables y eficientes para los trabajadores mineros. Esto implica el desarrollo e implementación de estrategias avanzadas de ventilación, sistemas de monitoreo y control, así como tecnologías innovadoras para mitigar los riesgos asociados con la falta de ventilación adecuada y condiciones ambientales extremas en las minas subterráneas. El énfasis está en mejorar la productividad y la seguridad, al tiempo que se minimiza el impacto ambiental y se promueve el bienestar de quienes trabajan en estos espacios.

En la presente investigación se pretende mostrar la importancia del mejoramiento de la gestión de las condiciones termo-ambientales en una mina subterránea teniendo en cuenta los aspectos geológicos, estructurales, operacionales, etc. A fin de cumplir con DS-024-2016-EM y su modificatoria DS-023- 2017-EM.

# **CAPÍTULO I**

## **GENERALIDADES**

### **1.1. Antecedentes Bibliográficos**

#### **A Nivel Internacional:**

**Haitham, O. y Obaid, M. (2021)** en su estudio **“Una revisión del sistema de ventilación de la mina subterránea”** en Irak. En el sector minero existen docenas de técnicas involucradas en la optimización de la ventilación en las minas subterráneas y cómo la mala ventilación tiene un gran impacto en los mineros y sus operaciones, el sistema de ventilación se considera muy importante porque consume mucha energía en el consumo total de energía de la mina. Este artículo es una revisión de investigaciones previas realizadas sobre el diseño de sistemas de ventilación y técnicas de optimización, como el uso de herramientas de software para modelar ecuaciones numéricas basadas en presión, temperatura, flujo y otros parámetros relevantes que está fijado por diferentes terrenos. Concluyendo que el software Ventsim se usaba ampliamente debido a su flexibilidad en la simulación dinámica basada en varios parámetros, incluida la profundidad, la posición del ventilador y el flujo. (XI) (XIV)

**Maleki, S. y Sotoudeh, F. y Sereshki, F. (2018)** en su estudio **“Aplicación de VENTSIM 3D y programación matemática para optimizar la red de ventilación de una mina subterránea: un caso de estudio”** sostuvo la importancia de optimizar las redes de ventilación en

las minas para garantizar la seguridad de los trabajadores y reducir los costos de energía. Se proporciona un resumen de investigaciones anteriores relacionadas con la optimización de la ventilación en las minas y se describe el uso del software de simulación VENTSIM para simular la distribución del flujo de aire en una mina de carbón subterráneo, así como un modelo matemático para optimizar las redes de ventilación en las minas, teniendo en cuenta factores como los costos de energía y mantenimiento.

**Rojas, S y Campos, V. (2020)** en su Tesis de ante grado titulada “**Estudio del sistema de ventilación de una mina subterránea en Colombia**” el objetivo de este estudio fue analizar la importancia del sistema de ventilación en una mina subterránea y cómo el software Ventsim puede ser utilizado para simular diferentes escenarios y optimizar el diseño del sistema de ventilación. El estudio muestra cómo la simulación virtual de los conductos y el ajuste de características como la rugosidad y la fricción puede ayudar a obtener un balance de flujos máxicos muy aproximado al real, lo que permite detectar y analizar variaciones en el caudal y la dirección del flujo de aire en diferentes escenarios. Se concluye que el diseño del sistema de ventilación de una mina subterránea es crucial para permitir el correcto desarrollo de las operaciones y garantizar la seguridad de los trabajadores, la simulación virtual del sistema de ventilación con el software Ventsim es una herramienta útil para optimizar el diseño del sistema y prever diferentes escenarios de trabajo. Además, la calibración del sistema y la inclusión de parámetros como la rugosidad y la fricción permiten obtener resultados más precisos y aproximados a la realidad.

**Valarezo, M. (2020)** en su tesis ante grado titulada “**Diseño del Sistema de Ventilación en la concesión Minera Cebral y diseño del sistema de desagüe en la concesión minera R-Nivel, Zaruma-El Oro**”, el cual sostuvo que se identificaron problemas en el sistema de ventilación para trasladar el aire fresco a niveles inferiores y ciegos, y en el sistema de desagüe

para la concesión minera R-Nivel. Se realizaron cálculos, evaluaciones y diseños para utilizar óptimamente la turbina de ventilador principal y para identificar diferentes parámetros técnicos y necesidades de personal. El diseño inicial de ventilación cuenta con un sistema de poleas de 30 cm, moviendo la turbina generando 764,01 RPM obteniendo un caudal de 400 CFM y el diseño final logrado es una mejora del ventilador con un sistema de poleas de 50cm, moviendo la turbina y generando 775,84 RPM obteniendo un caudal 2292,03 CFM, obteniendo como resultado optimización las condiciones termo-ambientales incrementando la productividad y reduciendo los costos debido a que obtendremos menos tiempos muertos por paradas. Con respecto al nuevo diseño de desagüe propuesto se realizó la selección de una bomba centrífuga óptima.

**Zhang, H. (2019) en su tesis Doctoral “Un marco para desarrollar una metodología híbrida para el modelado de la concentración de material particulado diésel en sistemas de ventilación de minas subterráneas”** sostuvo en desarrollar una metodología híbrida para el modelado de material particulado diésel (DPM) en sistemas de ventilación de minas subterráneas. La metodología híbrida utiliza un solucionador de dinámica de fluidos computacional (CFD) para proporcionar una entrada de diésel mejorada a un solucionador de redes de ventilación y actualizar los resultados del modelo de red en ubicaciones compartidas. Los resultados muestran que la metodología híbrida propuesta es más adaptable a los grandes sistemas de ventilación y puede simular con precisión los contaminantes como DPM de manera oportuna durante un período prolongado de tiempo. Sin embargo, debido a la baja calidad de los datos de flujo de aire y DPM recopilados en los dos estudios de campo realizados en una mina subterránea en el oeste de los Estados Unidos, este estudio debe verse como un estudio cualitativo en lugar de un estudio cuantitativo, además se establecieron los modelos CFD correspondientes, los modelos de redes de ventilación y los modelos de ventilación actualizados, y los resultados de estos modelos se

compararon con los datos experimentales. También se definieron las limitaciones tanto de los instrumentos como de la metodología. En conclusión, la metodología híbrida propuesta podría ser una herramienta útil para mejorar la simulación de DPM en sistemas de ventilación de minas subterráneas, pero se requiere una mayor investigación y pruebas en diferentes entornos antes de su implementación completa.

#### **A Nivel Nacional:**

**Gómez, A. (2021) en su tesis de ante grado titulada “Sistema de ventilación para optimizar las operaciones en la integración de dos unidades de producción en una empresa Minera La Libertad 2021”** cuyo objetivo fue determinar cómo influye el sistema de ventilación en la integración de dos unidades de producción de una minera de La Libertad en el año 2021. Se tomaron en cuenta los parámetros del sistema de ventilación integral, como el oxígeno y el monóxido de carbono, y se optimizó el sistema de ventilación auxiliar con ventiladores de 40000 cfm y mangas de 100 metros y diámetro de 42 pulgadas, se determinó la posición de las CHRCs con el software VENTSIM y se evaluaron las pérdidas de carga en la cámara principal de ventiladores con el software ANSYS FLUENT. Los resultados indicaron un ahorro significativo en costos de energía y una mejora en los indicadores de sostenibilidad anual, como el EBITDA, las onzas de oro y el consumo de energía anual. Además, se destacó que la utilización de motores eléctricos de tipo IE3 (0.6 Kg CO<sub>2</sub>/kWh) contribuyó a la mejora del medio ambiente. Se concluye que la optimización del sistema de ventilación en la integración de dos unidades de producción en la minera de La Libertad tuvo un impacto positivo en los costos de energía y en los indicadores de sostenibilidad anual. Además, la implementación de motores eléctricos de tipo IE3 contribuyó a la mejora del medio ambiente (XXI).

**Vargas, V. (2020) en su tesis de ante grado “Propuesta técnica económica de mejora para el diseño del sistema de ventilación principal de una operación minera subterránea - Cobriza 2020”**, sostuvo que el objetivo fue determinar una propuesta técnica económica de mejora para el diseño del sistema de ventilación principal de una operación minera subterránea en Cobriza, con el fin de mejorar la calidad del aire y asegurar la seguridad de los trabajadores. Los resultados obtenidos del estudio indicaron que se requería una cantidad de aire de 1,169,850.02 CFM para las operaciones subterráneas en las labores de la mina, con una diferencia de cobertura del 93% antes del diseño y del 100.78% después del diseño. Además, se logró un equilibrio del 2% entre el aire de entrada y salida de aire viciado. En conclusión, la propuesta técnica económica de mejora para el diseño del sistema de ventilación principal de una operación minera subterránea fue factible de realizar y logró mejorar la calidad del aire y la seguridad de los trabajadores, al cumplir con los requerimientos de cantidad y calidad de aire necesarios para realizar un trabajo adecuado y diluir los gases tóxicos producidos por las operaciones mineras (XXII).

**Diaz, R. (2019) en su tesis de maestría titulada “Optimización del sistema de ventilación como un método de control de la calidad del aire en La Mina San Rafael, de la Región Puno”**, cuyo objetivo fue mejorar la calidad del aire a través de la optimización del sistema de ventilación y el uso del software VUMA. Además, se buscó cumplir con los estándares establecidos por el D.S. 074-2001 PCM - Reglamento de Estándares Nacionales de calidad de aire y el DS 024 -2016-EM y su modificatoria DS 023 -2017 – EM. La optimización del sistema de ventilación a través del uso del software VUMA y la implementación de nuevas chimeneas, labores de ingreso de aire limpio y evacuación de aire viciado, resistencias de labores y requerimiento de aire en base a la cantidad de personal y equipos diésel utilizado, mejoró significativamente la calidad del aire en la Mina San Rafael. Después de la implementación del proyecto, la dilución de

gases tuvo una mejora de un 98.9%, lo que permitió cumplir con los estándares establecidos por el DS 024 -2016-EM y su modificatoria DS 023 -2017 – EM. Además, se eliminó la probabilidad de intoxicación por NO<sub>2</sub> en la rampa principal de profundización, la reducción de la temperatura en las labores críticas de la mina, específicamente en zona baja donde se cuenta con tajos y labores de exploración, de un promedio de 32° C a un promedio de 27.2°C, también permitió mejorar la calidad del aire y brindar mayor confort a los trabajadores. Así mismo contribuyó a la reducción de los casos de trabajadores diagnosticados con Silicosis en un 47% en el período 2016 al 2018, a pesar del aumento del número de trabajadores en un 24%. Se observó un descenso en un 58% en los casos de primer grado, un 50% en segundo grado y un 33% en tercer grado. En conclusión, la optimización del sistema de ventilación en la Mina San Rafael a través del uso del software VUMA, permitió mejorar significativamente la calidad del aire, brindar mayor confort a los trabajadores y reducir los casos de trabajadores diagnosticados con Silicosis.

**Cáceres J. (2019) en su tesis de ante grado titulada “Optimización de Costos de Ventilación Mecánica en el Diseño del Sistema de Ventilación del Nivel 2270 Unidad Minera San Andrés-Marsa”,** sostuvo que el sistema actual de ventilación no contaba con suficiente aire fresco para sus operaciones de ampliación y profundización de labores de producción. Para solucionar este problema, se llevó a cabo una optimización del circuito de ventilación mediante el aforo de las bocaminas y chimeneas y la evaluación del inventario de ventiladores disponibles. Con el objetivo de aumentar la presión de llegada y bajar el caudal, se sustituyeron los ventiladores de 20,000 CFM y 8 Pulg H<sub>2</sub>O por ventiladores de 10,000 CFM y 12 Pulg H<sub>2</sub>O. La optimización del circuito de ventilación permitió desarrollar las labores de profundización y avances programadas con una calidad de aire confortable para el personal y suficiente para la emisión de gases producidos durante las operaciones mineras. La conclusión del estudio es que la optimización del sistema de

ventilación ha permitido optimizar los costos en la Unidad Minera San Andrés-MARSA S.A. En comparación con el diseño anterior del circuito de ventilación, la inversión para el nuevo diseño se redujo en S/. 9,507.44, pasando de S/. 119,001.96 a S/. 109,494.52. Además, el nuevo diseño cumple con los requisitos legales y mejora las condiciones termo-ambientales de trabajo en la mina, demostrando la efectividad del proyecto, no solo para cumplir con los requisitos legales, sino también para mejorar las condiciones de trabajo y optimizar los costos de operación.

**Mamani, R. (2019) en su tesis de Antegrado titulada “Estudio y Diseño del Sistema de ventilación de las Zonas Yurika y Pablo, Hochschild Mining – Unidad Operativa Pallancata”,** donde sostuvo que para determinar el caudal de aire necesario para una ventilación óptima y proponer un sistema seguro, flexible y económico para su ejecución ,utilizó el software VentsimTM Design 5.1 para simular diferentes escenarios y obtener el número y tamaño de ventiladores necesarios, así como su ubicación y la selección de diámetros de chimeneas. El sistema de ventilación inicial de la Unidad Operativa Pallancata era deficiente, ya que solo cubría el 56% del caudal de aire requerido para una ventilación óptima. Por lo tanto, se realizó un estudio técnico-económico para comparar diferentes alternativas de sistemas de ventilación y diseñar un sistema óptimo para satisfacer los requerimientos de ventilación para el aumento de producción proyectado a mediano plazo. Concluyendo que el sistema de ventilación óptimo propuesto permitió cubrir el caudal de aire requerido y optimizar los costos a través de la selección adecuada de ventiladores y chimeneas.

## **1.2. Descripción de la realidad problemática**

### **A Nivel Internacional:**

En los últimos años, la industria minera a nivel mundial ha experimentado un aumento significativo en su actividad, lo que ha generado preguntas en la opinión pública sobre el verdadero

valor y el impacto positivo que esta actividad puede tener en el desarrollo económico y social del país. Sin embargo, se muestra fuertemente el agotamiento de los recursos minerales ubicados en poca profundidad, los países de todo el mundo han comenzado sucesivamente a extraer los recursos que están ubicados a profundidad. A medida que aumenta la profundidad de las minas, también se incrementa la temperatura y los daños a la roca por el incremento de calor generando malas condiciones termo-ambientales.

Xingxin Nie, Xiaobin Wei, Xiaochen Li y Caiwu Lu (2018) refiere que, a una profundidad de 900 m en una mina en Alemania, la temperatura promedio es de 41 ° C y a la profundidad de la minería de 1712 m, la temperatura máxima es de 50 ° C. En las minas de oro en la India, a una profundidad de 3000 m, la temperatura geotérmica es de más de 60 ° C. La mina subterránea más profunda del mundo es el depósito de oro Carletonville de Sudáfrica: la profundidad de la minería es de 4000 m y la temperatura del suelo es de 70° C. En la actualidad, China también está reuniendo el problema de las altas temperaturas en minas profundas, como en la mina Shandong Sun Cun, la mina de cobre Tongling Shizishan y la mina de cobre Tongling Shizishan y el Mina de cobre Fushun Hongtoushan donde la profundidad de la minería es de más de 1000 m y la temperatura geotérmica es de 45 ° C. Así mismo Bambang y Rizto (2021) refiere que en las minas de carbón ,la mayoría de los accidentes ocurren debido a explosiones de gas metano y claramente esto es una indicación de la mala gestión del sistema de ventilación de aire en la mina de carbón subterránea ,sin embargo si el sistema de gestión de la ventilación del aire se lleva a cabo de forma adecuada y de acuerdo con la normativa vigente, ello permitirá controlar la calidad y cantidad de aire en la mina para que cumpla con los valores umbral requeridos. El manejo de un buen sistema de ventilación generará confianza para que los trabajadores se mantengan activos con comodidad y alta eficiencia en el trabajo. Las minas de metálicas a medida que pasaron los años se incrementaron

el requerimiento para mejorar las condiciones termo-ambientales para los trabajadores. (Ver Anexo 1)

### **A Nivel Nacional**

La industria minera en Perú ha sido históricamente una de las actividades económicas más significativas del país, generando una considerable cantidad de divisas que actualmente supera el 50% de nuestras exportaciones totales. Esta contribución económica proveniente de la minería ha experimentado un constante crecimiento en el tiempo.

Según Duran (2018), en su investigación sobre el mejoramiento de la ventilación en la mina subterránea Mina Colquijirca Cía. De Minas Buenaventura S.A.A., se observó una problemática relacionada con la falta de un circuito definido para la evacuación del aire contaminado. Esta situación ha provocado la acumulación de humo y concentraciones de gases que en algunos casos superan los límites máximos permitidos (LMP). La conclusión a la que llegó fue que los ventiladores auxiliares instalados en serie para la ventilación de los diferentes tajeos en explotación, se encuentran mal instalados, lo que ocasiona una recirculación del aire y dificulta la evacuación del humo generado por los equipos diésel, retardando su eliminación. Este problema puede tener graves consecuencias para la salud y seguridad de los trabajadores de la mina. Concordando con lo anterior Llacho y Vargas (2018) en su estudio del sistema de ventilación para el control de agentes químicos y físicos, U.O. Pallancata – veta Pablo – 2018, identificado que el circuito de ventilación actual en la veta Pablo no cumple con el requisito necesario para eliminar y controlar los agentes generados por la extracción minera. Se sugiere un cambio en el circuito, mediante la finalización del RC 04 Pablo, que proporcionaría una cobertura del 102%, siendo una medida importante para mejorar la calidad del aire y garantizar la seguridad de los trabajadores involucrados en la extracción minera regulado por el DS 024 y su modificatoria.(XVIII)

## **A Nivel Local**

La empresa minera en estudio se encuentra ubicada en el sur del Perú, a una altitud de 1,800 m.s.s.m, dedicada a la explotación polimetálica, por motivos de confidencialidad se reservará el nombre de la empresa, cuya denominación en adelante será “Empresa Minera”, el cual tiene una profundidad de 400 metros. Los trabajadores desempeñan labores en áreas inferiores que propician condiciones termo ambientales adversas para su salud y rendimiento. El entorno se encuentra afectado por elementos químicos y físicos, como los gases emitidos por el proceso de explosión, traslado y transporte de minerales, los cuales provocan polución y temperaturas elevadas. Es importante resaltar que la ventilación inadecuada en las minas subterráneas, generan concentraciones de CO, temperatura, polución, que superar los límites máximos permitidos, lo que obliga a los trabajadores a esperar hasta que las áreas de trabajo tengan condiciones termo ambientales propicias por debajo de los LMP, antes de iniciar sus labores de forma segura. El no prever el diseño, controles y organización de un sistema integral de ventilación podrían ocasionar enfermedades ocupacionales a corto o largo plazo, accidentes por gaseamiento o pérdida en el proceso, debido a la exposición a ambientes altamente contaminados.

Adicionalmente el no cumplimiento de los estándares establecidos de un sistema de ventilación en minas subterráneas puede acarrear consecuencias legales y financieras para la empresa, lo que enfatiza aún más la importancia de garantizar condiciones óptimas de trabajo en dichos ambientes. Por lo tanto, es esencial tomar en cuenta las regulaciones legales del DS 024 y modificatoria de ventilación de minas subterráneas con el fin de proteger la salud y seguridad de los trabajadores.

El propósito del estudio es mejorar la gestión de la ventilación y las condiciones termo-ambientales en la mina subterránea del sur del Perú para proteger la salud y la seguridad de los

trabajadores y mejorar la productividad de la industria minera en general. Por lo anterior expuesto se fórmula la siguiente interrogante: ¿Cómo influye el Mejoramiento de la Gestión de ventilación de mina en las condiciones Termo-Ambientales en minas subterráneas?

### **1.3. Formulación del Problema**

#### **1.3.1. Problema General**

¿Cómo influye el mejoramiento de la gestión de ventilación de mina en las condiciones termo-ambientales en minas subterráneas?

#### **1.3.2. Problema Específico**

- ¿Como influye el mejoramiento de la gestión de ventilación de mina mediante la metodología de diseño en las condiciones Termo-ambientales en minas subterráneas?
- ¿Cómo influye el mejoramiento de la gestión de ventilación de mina mediante la metodología del software Ventsim en la mejora de las condiciones termo-ambientales en minas subterráneas?
- ¿Como influye el mejoramiento de la gestión de ventilación de mina mediante la metodología de valuación en la mejora de las condiciones Termo-ambientales en minas subterráneas?

### **1.4. Justificación e Importancia de la Investigación**

#### **1.4.1. Justificación Teórica**

En el presente trabajo de investigación se aplica el conocimiento del Mejoramiento de la Gestión de ventilación de mina y las condiciones Termo-Ambientales en minas subterráneas.

#### **1.4.2. Justificación Práctica**

Los resultados permitirán la implementación de medidas que mejore la ventilación y las condiciones termo ambientales para así mejorar la eficiencia y productividad en las labores mineras, reduciendo los costos asociados a las enfermedades laborales, basados en las normativas legales del país.

#### **1.4.3. Justificación Legal**

Con el desarrollo de la presente tesis se estará cumpliendo con las normas del país; (en el caso del Perú el DS 024 y su modificatoria 023).

#### **1.4.4. Justificación Personal**

Con el desarrollo y la sustentación del presente trabajo de investigación tendré la oportunidad de obtener el Grado Académico de Magister en Gestión Minera, optimizando mis conocimientos de alto valor pudiendo generar soluciones innovadoras en las empresas mineras.

### **1.5. Objetivos**

#### **1.5.1. Objetivo General**

Determinar la influencia del mejoramiento de la gestión de ventilación en las condiciones termo-ambientales en una mina subterránea.

#### **1.5.2. Objetivo Específico**

- Determinar la influencia en el mejoramiento de la gestión de ventilación de mina mediante la metodología de diseño en las condiciones termo-ambientales en minas subterráneas.

- Determinar la influencia en el mejoramiento de la gestión de ventilación de mina mediante la metodología del software Ventsim en la mejora de las condiciones termo-ambientales en minas subterráneas.
- Determinar la influencia en el mejoramiento de la gestión de ventilación de mina mediante la metodología de valuación en la mejora de las condiciones termo-ambientales en minas subterráneas.

## **1.6. Hipótesis**

### **1.6.1. Hipótesis General**

HA: El mejoramiento de la gestión de ventilación en mina tiene influencia significativa en las condiciones termo-ambientales en las minas subterráneas.

HO: El mejoramiento de la gestión de ventilación en mina no tiene influencia significativa en las condiciones termo-ambientales en las minas subterráneas.

### **1.6.2. Hipótesis Específica**

HA: El mejoramiento de la gestión de ventilación en mina tiene influencia significativa mediante la metodología de diseño en las condiciones termo-ambientales en las minas subterráneas.

HO: El mejoramiento de la gestión de ventilación en mina no tiene influencia significativa mediante la metodología de diseño en las condiciones termo-ambientales en las minas subterráneas.

HA: El mejoramiento de la gestión de ventilación en mina tiene influencia significativa mediante la metodología del software Ventsim en las condiciones termo-ambientales en las minas subterráneas.

HO: El mejoramiento de la gestión de ventilación en mina no tiene influencia significativa mediante la metodología del software Ventsim en las condiciones termo-ambientales en las minas subterráneas.

HA: El mejoramiento de la gestión de ventilación en mina tiene influencia significativa mediante la metodología de valuación en las condiciones termo-ambientales en las minas subterráneas.

HO: El mejoramiento de la gestión de ventilación en mina no tiene influencia significativa mediante la metodología de valuación en las condiciones termo-ambientales en las minas subterráneas.

### **1.7. Variables e Indicadores**

- **Variable Independiente:**

Mejoramiento de la Gestión de Ventilación.

- **Variable Dependiente:**

Condiciones Termo-Ambientales en minas subterráneas.

### **1.8. Operacionalización de Variables**

**Tabla 1.1**

*Variable N°1 Mejoramiento de la Gestión de Ventilación*

VARIABLE N°1	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN	ESCALA VALORATIVA
<b>Mejoramiento de la Gestión de Ventilación</b>	Sepúlveda (2019) “Implementación de medidas para controlar el flujo de aire en las minas subterráneas, con el fin de garantizar una adecuada calidad y cantidad de aire, la seguridad y salud de los trabajadores”. (p.13)	Implementación de medidas para aumentar el flujo de aire y la distribución de aire fresco en una mina del Sur, con el objetivo de reducir la concentración de gases tóxicos, polvo y humedad.	<b>Metodología de diseño</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Planos topográficos</li> <li>▪ Número de ventiladores</li> <li>▪ Capacidad de los ventiladores instalados</li> <li>▪ Velocidad de flujo de aire</li> <li>▪ Porcentaje de cobertura de aire</li> <li>▪ Sección de las labores mineras</li> </ul>	Ordinal	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Diámetro Optimo de RBs</li> <li>-Velocidades de flujo de aire <math>\geq 25</math> m/min</li> <li>-N° de ventiladores:60</li> <li>-Concentraciones de CO <math>\leq 25</math> ppm</li> <li>- Concentraciones de CO <math>\leq 5</math> ppm</li> </ul>
			<b>Metodología del software Ventsim</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Calibración del software.</li> <li>▪ Experiencia y capacitación del personal</li> <li>▪ Ahorro de tiempo y recursos</li> <li>▪ Capacidad de simulación de diversos escenarios.</li> </ul>	Ordinal	Calibración de software Ventsim <90% -95% > de certeza
			<b>Metodología de valuación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Precisión</li> <li>▪ Fiabilidad</li> <li>▪ Costo y complejidad</li> <li>▪ Cobertura de requerimiento de aire</li> </ul>	Ordinal	Eficiencia de red de ventilación <85% - 90% > Cobertura de requerimiento de ventilación >100%

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 1.2**

*Variable N° 2 Condiciones Termo Ambientales en Minas Subterráneas (II)*

VARIABLE N°2	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN	ESCALA VALORATIVA
<b>Condiciones Termo-Ambientales en minas subterráneas</b>	Camargo (2022) “Refiere a las características del ambiente de trabajo subterráneo que afectan la temperatura, la humedad y la calidad del aire en el espacio de trabajo. Estas condiciones pueden variar dependiendo de la ubicación geográfica, la profundidad de la mina y las actividades realizadas en ella” (p.17)	Medición y monitoreo regular de la temperatura, humedad relativa y calidad del aire en una mina del sur, utilizando equipos de medición y muestreo adecuados, teniendo en cuenta las condiciones climáticas y geográficas específicas de la zona.	<b>Temperatura del aire</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Temperatura media del aire</li> <li>▪ Temperatura máxima y mínima del aire.</li> <li>▪ Variabilidad de la temperatura</li> </ul>	Ordinal	Temperatura menor a 29 grados Celsius
			<b>Humedad del aire</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Humedad relativa media</li> <li>▪ Humedad relativa máxima y mínima en la mina.</li> </ul>	Ordinal	Humedad relativa del aire entre el 40% y el 70%.
			<b>Concentración de gases</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Concentración máxima y mínima de gases tóxicos en la mina</li> </ul>	Ordinal	Oxígeno de al menos el 19.5% a 22.5% Monóxido de carbono menor a 25 partes por millón. Dióxido menor a 5 partes por millón.
			<b>Velocidad del aire</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Velocidad máxima y mínima del aire</li> <li>▪ Variabilidad de la velocidad del aire</li> </ul>	Ordinal	Velocidades del aire mayor a 25 metros por minuto.

**Fuente:** Elaboración Propia

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO Y MARCO CONCEPTUAL**

#### **2.1 Bases Teóricas**

##### **2.1.1 Gestión en Ventilación Minera**

Según Sepúlveda (2019). La gestión en ventilación minera son un conjunto de acciones y procesos llevados a cabo para garantizar una adecuada circulación de aire en las minas subterráneas. Así mismo García (2019). La ventilación en la minería subterránea es esencial para proporcionar un ambiente de trabajo seguro y saludable para los trabajadores, así como para controlar los riesgos asociados con la presencia de gases, polvos y otros contaminantes en el aire. Ello implica la aplicación de medidas y estrategias que permitan mantener la calidad del aire dentro de los límites aceptables, garantizando así la salud y el bienestar de los trabajadores. Algunos aspectos clave de la gestión en ventilación minera incluyen:

- **Diseño y planificación:** Se lleva a cabo un diseño adecuado de los sistemas de ventilación, teniendo en cuenta las características geológicas de la mina, la ubicación de las labores, la cantidad de trabajadores y equipos, entre otros factores. Se realiza una planificación detallada de los flujos de aire y se establecen las redes de ventilación necesarias.
- **Monitoreo y control:** Se implementan sistemas de monitoreo para evaluar constantemente la calidad del aire y las condiciones de ventilación en la mina. Se utilizan equipos de medición

y sensores para monitorear los parámetros clave, como la velocidad del aire, la concentración de gases y polvos, la temperatura y la humedad. Con base en los resultados del monitoreo, se toman medidas de control adecuadas para mantener los niveles de contaminantes dentro de los límites establecidos.

- **Mantenimiento y operación:** Se lleva a cabo un mantenimiento regular de los sistemas de ventilación para garantizar su correcto funcionamiento. Esto implica inspecciones periódicas, limpieza de ductos, reparación de equipos y reemplazo de filtros, entre otras tareas. Además, se capacita al personal encargado de operar y mantener los sistemas de ventilación.
- **Gestión de emergencias:** Se establecen procedimientos y protocolos de respuesta ante situaciones de emergencia, como incendios, explosiones o la liberación de gases tóxicos. Se realizan simulacros y entrenamientos para asegurar que los trabajadores estén preparados para responder de manera segura y efectiva en caso de una emergencia relacionada con la ventilación.
- **Cumplimiento normativo:** Se asegura el cumplimiento de las normas y regulaciones establecidas por las autoridades competentes en materia de ventilación minera. Esto implica cumplir con los límites de exposición a contaminantes, mantener registros y documentación adecuada, y someterse a inspecciones regulares.
- **Estrategias de medidas de control:** se pueden implementar diversas estrategias y medidas de control para garantizar una circulación adecuada del aire y mantener un entorno de trabajo seguro y saludable. Siendo algunas estrategias como diseño adecuado del sistema de ventilación, ventilación primaria y secundaria.

### 2.1.2 Ventilación minera

González (2019) Son un conjunto de técnicas y medidas utilizadas para garantizar una adecuada circulación del aire en las minas y reducir la concentración de contaminantes, como gases tóxicos, polvo, vapores o partículas suspendidas en el aire. Al mantener una buena ventilación, se busca prevenir la acumulación de gases peligrosos, controlar la temperatura y humedad, y garantizar un flujo de aire adecuado para mantener condiciones respirables.

La ventilación minera se logra mediante la implementación de sistemas de ventilación que incluyen:

**Entradas de aire fresco:** Se establecen puntos de entrada donde ingresa el aire fresco a la mina desde el exterior. Estos puntos están ubicados estratégicamente para asegurar una distribución uniforme del aire.

**Redes de conductos:** Se instalan conductos que distribuyen el aire fresco por toda la mina, llevándolo a las áreas de trabajo y extrayendo el aire viciado y contaminado.

**Ventiladores:** Se utilizan ventiladores para generar un flujo de aire adecuado en los conductos y garantizar la circulación del aire en la mina. Los ventiladores pueden ser impulsados por electricidad o por compresión de aire.

**Barreras y cortinas:** Se emplean barreras y cortinas para dirigir el flujo de aire de manera controlada, evitando la contaminación cruzada y proporcionando áreas de trabajo seguras.

**Control de contaminantes:** Se implementan sistemas de filtración y control de contaminantes para eliminar o reducir la presencia de gases, polvo y otros contaminantes en el aire (X)

#### 2.1.2.1 Normativa y Regulación de Ventilación Mina Subterránea

Gómez (2019) En Perú, la normativa y regulación relacionada con la ventilación en minas subterráneas se encuentra establecida en diferentes leyes y reglamentos:

- Ley General de Minería (Ley No 27651): Esta ley establece disposiciones generales para la actividad minera en Perú y establece las bases legales para la gestión de seguridad y salud ocupacional en las minas, incluyendo la ventilación.
- Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería (Decreto Supremo N°024-2016-EM): Este reglamento complementa la Ley General de Minería y establece las medidas de seguridad y salud ocupacional que deben implementarse en las operaciones mineras, incluyendo requisitos específicos para la ventilación en minas subterráneas.
- Reglamento de Ventilación en Labores Mineras Subterráneas (Resolución Ministerial N°097-2004-EM/VMM): Este reglamento establece los requisitos técnicos y las pautas para el diseño, operación y mantenimiento de los sistemas de ventilación en las labores mineras subterráneas en Perú. (VIII)

#### **2.1.2.2 Riesgos Asociados a la Falta de Ventilación Adecuada**

López (2020). La falta de ventilación adecuada en las minas subterráneas puede generar riesgos para la salud y seguridad de los trabajadores. Algunos de estos riesgos incluyen:

- Acumulación de gases tóxicos. La falta de ventilación puede dar lugar a la acumulación de gases como metano, monóxido de carbono y dióxido de azufre, los cuales pueden ser inflamables, asfixiantes o irritantes para el sistema respiratorio.
- Concentración de polvo y partículas. La ausencia de ventilación adecuada puede causar la acumulación de polvo y partículas suspendidas en el aire. La exposición prolongada a niveles elevados de polvo puede provocar enfermedades respiratorias, como la silicosis o la neumoconiosis.

- Aumento de la temperatura y humedad. La falta de ventilación adecuada puede incrementar la temperatura y humedad en las labores mineras subterráneas, lo cual puede conducir a condiciones de estrés térmico, agotamiento por calor e incluso golpes de calor.
- Contaminación del aire con sustancias químicas. La ausencia de ventilación puede ocasionar la acumulación de sustancias químicas en el aire, como vapores de productos químicos utilizados en los procesos mineros. La exposición a estas sustancias puede tener efectos adversos en la salud, como irritación de las vías respiratorias o intoxicaciones.
- Reducción de la visibilidad. La falta de ventilación adecuada puede disminuir la visibilidad debido a la presencia de polvo en suspensión en el aire. Esta reducción de la visibilidad aumenta el riesgo de accidentes, tropiezos o caídas en las labores mineras.

### **2.1.2.3 Diseño del Sistema de Ventilación**

Martínez (2020). El diseño del sistema de ventilación en una mina subterránea es una etapa crucial en la planificación y operación segura de la mina. Consiste en desarrollar un sistema eficiente y efectivo que proporcione un suministro adecuado de aire fresco y controle la contaminación y los riesgos relacionados con el ambiente de trabajo subterráneo. Algunos aspectos clave en el diseño del sistema de ventilación incluyen:

- Principios y técnicas de diseño: Se basa en principios y técnicas de la aerodinámica y la termodinámica. Esto implica comprender cómo el aire fluye en la mina, cómo interactúa con los obstáculos y cómo se distribuye a lo largo de los diferentes frentes de trabajo.
- Selección de equipos: El diseño implica seleccionar los equipos de ventilación adecuados para la mina. Esto puede incluir ventiladores principales, ventiladores auxiliares, compresores de aire, sistemas de purificación del aire y sistemas de control de la ventilación. Los equipos se

seleccionan en función de las necesidades de flujo de aire, la resistencia al flujo y las condiciones específicas de la mina.

- Disposición de los ventiladores: Los ventiladores se distribuyen estratégicamente en la mina para lograr el flujo de aire deseado. Se deben considerar la ubicación de las fuentes de contaminantes, la dirección de los frentes de trabajo, los puntos de extracción y los puntos de suministro de aire fresco.
- Cálculos de flujo de aire: Mediante los cálculos permitirá determinar los requerimientos de flujo de aire en la mina, para ello se consideran factores como el número de trabajadores, las actividades de extracción, los equipos utilizados y la presencia de contaminantes.
- Distribución del aire: El diseño incluye la planificación de la distribución del aire fresco en la mina. Esto puede implicar el uso de ductos, cortinas de aire o puertas de aire para dirigir el flujo de aire hacia áreas específicas y garantizar que los frentes de trabajo estén adecuadamente ventilados.
- El diseño del sistema de ventilación se realiza utilizando software de simulación y modelado de flujo de aire, que permite evaluar diferentes configuraciones y optimizar la eficiencia del sistema. Es fundamental considerar las regulaciones y estándares de seguridad aplicables, así como las características específicas de la mina y las condiciones geológicas.
- Un sistema de ventilación bien diseñado garantiza un suministro adecuado de aire fresco, controla los riesgos de contaminantes y asegura un ambiente de trabajo seguro y saludable para los trabajadores en la mina subterránea. (XXIII).

#### **2.1.2.4 Medición y Monitoreo de la Ventilación**

Según Sánchez (2020), nos da a conocer de la siguiente manera:

- **Medición de la velocidad del flujo de aire:** La velocidad del flujo de aire se mide utilizando anemómetros, que pueden ser de tipo térmico o de paletas. Estos dispositivos miden la velocidad del aire en metros por segundo (m/s) o pies por minuto (ft/min). Es importante medir la velocidad del flujo de aire en diferentes puntos de la mina para evaluar la distribución y asegurarse de que cumpla con los requisitos de ventilación. Generalmente, se busca mantener una velocidad de flujo de aire mayores a 25 (m/min) para garantizar una buena dilución de los contaminantes y proporcionar condiciones adecuadas para los trabajadores.
- **Monitoreo de la presión diferencial:** La presión diferencial se mide para determinar la eficacia del sistema de ventilación y la existencia de fugas de aire. Se utilizan dispositivos de medición de presión diferencial, como manómetros, para comparar la diferencia de presión entre diferentes puntos de la mina. Esto ayuda a identificar áreas de alta o baja presión y tomar las medidas correctivas necesarias.
- **Medición de la concentración de gases:** La concentración de gases puede medirse utilizando dispositivos de detección de gases específicos, como sensores de monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) o metano (CH<sub>4</sub>). Estos sensores proporcionan lecturas instantáneas de la concentración de gases en partes por millón (ppm) o porcentaje (%), lo que permite detectar niveles peligrosos y tomar acciones preventivas. Siendo sus valores normales monóxido de carbono (CO), concentración máxima permitida de 25 (ppm), dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), concentración máxima permitida de 5 (ppm).
- **Monitoreo de la temperatura y humedad:** se miden utilizando el psicrómetro. Estos dispositivos proporcionan lecturas de la temperatura en grados Celsius (°C) o Fahrenheit (°F) y de la humedad relativa en porcentaje (%). El monitoreo de la temperatura y humedad es importante para garantizar condiciones confortables y prevenir la formación de condensación que pueda

afectar la seguridad y la calidad del aire. Siendo sus valores referenciales según DS. O24, temperatura  $< 29$  °C, y una humedad relativa entre el 30% y el 60% para garantizar condiciones cómodas y seguras para los trabajadores.

- Uso de sistemas de monitoreo automatizados: En las minas modernas, se utilizan sistemas de monitoreo automatizados que recopilan datos en tiempo real de varios sensores distribuidos en la mina. Estos sistemas pueden enviar alertas automáticas en caso de condiciones anormales, generar informes y ayudar en la toma de decisiones para mejorar la eficiencia y la seguridad de la ventilación. (XXV)

### **2.1.3 Condiciones Termo ambientales**

García (2020). Se refieren al conjunto de parámetros relacionados con la temperatura, humedad y velocidad del aire en una mina subterránea. Estos parámetros son importantes para evaluar y mantener un ambiente cómodo y seguro para los trabajadores. (VII)

#### **2.1.3.1 Normativa y regulación de las condiciones termo ambientales**

Hernández (2020). En Perú, la normativa y regulación de las condiciones termo ambientales en las minas subterráneas está establecida por el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) y otras instituciones relacionadas. A continuación, se mencionan algunas disposiciones específicas para las condiciones termo ambientales en minas subterráneas en Perú:

Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería (Decreto Supremo No 024-2016-EM): Este reglamento establece las disposiciones generales para la seguridad y salud ocupacional en la actividad minera en Perú. En el Capítulo VI, se abordan las condiciones ambientales de trabajo, incluyendo la temperatura y la humedad en las minas subterráneas. Establece requisitos para el monitoreo, control y gestión de estas condiciones.

Norma Técnica de Calidad del Aire (Resolución Ministerial No 432-2011-MINSA): Esta norma establece los límites permisibles de contaminantes en el aire y los estándares de calidad del aire en el entorno laboral. Es aplicable a las minas subterráneas y contribuye a garantizar la calidad del aire en relación con las condiciones termo ambientales.

Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería Subterránea (Decreto Supremo No 024-2019-EM): Este reglamento específico para la minería subterránea complementa al reglamento general y aborda aspectos específicos de las condiciones termo ambientales en minas subterráneas. Establece requisitos para el diseño del sistema de ventilación, la temperatura, la humedad, la calidad del aire y otros aspectos relacionados con el ambiente laboral subterráneo (XVII)

## 2.2 Marco Conceptual

- **Gestión de Ventilación**

Es el gerenciamiento de las actividades de los procesos con la finalidad de controlar los parámetros de la ventilación manteniéndolos dentro de los LMP.

- **Sistema de Ventilación Subterránea**

Cada mina subterránea es única en su sistema de ventilación los cuales permiten subclasificar de la siguiente manera:

- **Sistemas Principales:** Es el circuito fundamental para mantener las condiciones seguras y saludables para los trabajadores. Este sistema tiene como objetivo principal proporcionar un flujo de aire adecuado y controlado en el interior de la mina, asegurando la dilución y extracción de contaminantes, como gases tóxicos, polvo y humos, así como la regulación de la temperatura y la humedad.

- **Sistema Auxiliar:** Se refiere a un conjunto de elementos y dispositivos adicionales que se utilizan para complementar el sistema de ventilación principal y mejorar las condiciones de ventilación en áreas específicas de la mina donde el flujo de aire puede ser deficiente o insuficiente y tiene como objetivo principal proporcionar un flujo adicional de aire fresco en áreas críticas de la mina, como frentes de trabajo, zonas de alto nivel de contaminantes o áreas con mayor concentración de trabajadores.
- **Perdida de Presión o Resistencia al flujo**

La pérdida de presión o resistencia al flujo se refiere a la disminución de presión que ocurre cuando un fluido, como el aire, atraviesa un conducto o sistema. Esta resistencia al flujo puede deberse a varios factores, como el tamaño y la forma del conducto, la rugosidad de las superficies internas, los codos o curvas en el conducto, los filtros, entre otros. La pérdida de presión es una medida de la cantidad de energía que se pierde en superar dicha resistencia, y se expresa típicamente en unidades de presión (por ejemplo, pascal, pulgadas de agua, etc.). Cuanto mayor sea la resistencia al flujo, mayor será la pérdida de presión y, por lo tanto, se requerirá más energía para mantener un flujo de fluido constante a través del sistema.

- **Aerodinámico**

Un objeto aerodinámico es aquel diseñado y construido teniendo en cuenta los principios de la aerodinámica para interactuar eficientemente con el aire. Estos objetos están diseñados específicamente para reducir la resistencia al aire y maximizar la sustentación, lo que resulta en una mejor eficiencia y rendimiento en términos de velocidad, consumo de energía y estabilidad.

- **Ventilación Mecánica:**

Se refiere al uso de sistemas de ventilación impulsados por energía para proporcionar aire fresco y limpio a las áreas de trabajo subterráneo. Los sistemas de ventilación mecánica en las minas están diseñados para extraer aire viciado y contaminado de las áreas de trabajo subterráneo y proporcionar aire fresco y limpio a través de ventiladores y conductos. Estos sistemas también pueden incluir la instalación de puertas y cortinas de aire para controlar el flujo de aire en las minas.

- **Ventilación Natural:**

Es el proceso mediante el cual se hace circular el aire por interior mina sin recurrir al uso de ventiladores electromecánicos.

- **Punto de Operación:**

El punto de operación del ventilador es el punto en el que la curva de rendimiento del ventilador se cruza con la curva de resistencia del sistema (P, Q).

- **Eficiencia de la Red:**

La eficiencia de la red de ventilación (conductos) se refiere al grado en que se logra un equilibrio o proporción adecuada entre el volumen de aire fresco que ingresa y el sistema de ventilación, ya sea a través de un impulso mecánico o mediante ventilación natural.

- **Resistencia de la red:**

La resistencia total al flujo de aire es el resultado de la combinación de todos los elementos que obstaculizan el paso de un volumen de aire. Esta resistencia depende del tamaño de la sección del conducto y de las condiciones de las superficies internas del mismo, conocidas como factores de fricción y choque expresado en  $Ns^2/m^8$ .

- **Requerimiento de Aire**

Es el cálculo de la cantidad de aire que requieren las personas, equipos, ambiente para tener un ambiente confortable de acuerdo (DS-024-2016-EM y su modificatoria DS-023- 2017-EM).

- **Ruta de Escape**

Se refiere a una vía designada y segura que permite a los trabajadores salir rápidamente de la mina en caso de una emergencia. Estas rutas están planificadas y construidas específicamente para proporcionar una salida segura en situaciones como incendios, inundaciones, colapsos estructurales o cualquier otro evento que pueda poner en peligro la vida de las personas en la mina.

- **Plano de Escape**

Los planos de escape son representaciones gráficas detalladas que muestran las rutas de escape y los sistemas de seguridad dentro de la mina. Estos planos están diseñados específicamente para proporcionar información clara y precisa sobre las vías de salida, las ubicaciones de los refugios de emergencia, los equipos de seguridad y otros elementos relevantes en caso de una situación de riesgo o emergencia.

- **Condiciones termo ambientales**

Hace referencia al entorno térmico y ambiental en el que trabajan los mineros. Estas condiciones pueden variar según la profundidad de la mina, la geografía, la presencia de agua subterránea y la actividad minera en sí.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1 Método de Investigación**

El método de investigación es deductivo, Sampieri, et al (2006) consiste en utilizar una teoría o hipótesis general como punto de partida para mostrar cómo se comportarán los datos en situaciones específicas, parte de una idea general y se infieren consecuencias específicas que pueden ser comprobadas mediante la recolección de datos y la observación empírica. (III)

#### **3.2 Tipo de Investigación**

El enfoque de la tesis es una investigación aplicada por que se centra en la solución de problemas prácticos o la toma de decisiones en un entorno real, utilizando conocimientos y técnicas provenientes de la investigación científica. Arias et al (2021).

#### **3.3 Nivel de Investigación**

El nivel de investigación es explicativo refiere al nivel de análisis que se utiliza para explicar un fenómeno o problema de investigación; identificando sus causas y efectos. Sampieri, et al (2006).

#### **3.4 Diseño de Investigación**

Córdoba, et al (2023). El diseño de la investigación es experimental, es una forma rigurosa de diseñar una investigación científica para establecer una relación causal entre dos o más

variables. Es una herramienta valiosa para nuestra investigación en el área minera y otras disciplinas. (I)

### 3.5 Población y Muestra

- **Población:** abarca el sistema de Ventilación y las condiciones termo ambientales de la minera en estudio.
- **Muestra:** se utilizará un muestreo de tipo aleatorio simple, incluyendo un número representativo de puntos de medición del sistema de ventilación y de las condiciones termo ambientales.

### 3.6 Fuentes de Recolección de Datos

Se realizó la recolección de información en la mina en estudio teniendo en cuenta las siguientes fuentes:

- **Fuentes Primaria:** Se considera los datos recolectados de los circuitos de ventilación principales y secundarios (mediciones de temperatura, humedad, velocidad, caudal, coberturas, energía y concentración de gases, etc.), Observación directa de las condiciones de ventilación y termo ambientales en la mina.
- **Fuentes Secundarias:** Incluye artículos científicos y técnicos sobre ventilación de minas y condiciones termo ambientales en minas subterráneas, informes y estadísticas sobre accidentes laborales en minas subterráneas relacionados con condiciones ambientales, normas y regulaciones relacionadas con la gestión de ventilación y condiciones ambientales en minas subterráneas, libros y publicaciones sobre minería subterránea y gestión de la seguridad y salud en el trabajo.

### 3.7 Técnicas e Instrumentos para Recolección de Datos

- Mediciones in situ: Se realizó mediciones directas en las minas subterráneas para recopilar datos sobre las condiciones termo-ambientales, incluyendo la medición de la temperatura, la humedad, la calidad del aire, el flujo de aire y otros parámetros relevantes. Se ejecutó el mapeo actual del control de los parámetros de ventilación en las labores de interior mina, en donde empleó el método de áreas iguales "Method of equal areas" para realizar las mediciones de flujo de aire, siguiendo la norma "ASHRAE 111; Practices for measurement, testing, adjusting and balancing of building heating, ventilation". El enfoque principal es aproximar el área transversal del túnel a un rectángulo y dividirlo en áreas iguales. Luego, se miden las velocidades en el centro de cada área y se promedian de acuerdo con las especificaciones de la norma
- Instrumentación en tiempo real: Se instaló instrumentos y sensores especializados en las minas subterráneas para monitorear y registrar continuamente las condiciones termo-ambientales. Estos dispositivos pueden proporcionar datos precisos y en tiempo real sobre variables como la temperatura, la humedad, la velocidad del flujo de aire y la concentración de gases.
- Estudios de campo: Se realizó estudios de campo donde recolectamos datos mediante la observación directa de las condiciones termo-ambientales en diferentes áreas de las minas subterráneas. Esto implica registrar y analizar las variaciones en la temperatura, la humedad y la calidad del aire en diferentes puntos de la mina.
- Cuestionarios y encuestas: Además de las mediciones técnicas, se utilizó cuestionarios y encuestas para recopilar datos sobre la gestión de la ventilación en las minas subterráneas. Así misma información sobre las prácticas actuales, las percepciones de los trabajadores y las opiniones sobre posibles mejoras en la gestión del ambiente térmico.

Los instrumentos para utilizar se describen a continuación:

- 01 equipo Testo 400.
- 01 sonda térmica con un diámetro de 10 mm que mide la velocidad del aire y la temperatura utilizando un hilo caliente en un rango de  $\pm 0$  a 20 m/s.
- 01 sonda de molinete con diámetro de  $\varnothing$  16 mm, que mide velocidades altas ( $\pm 0$  a 40 m/s).
- 01 Psicrómetro que mida la temperatura de bulbo seco, húmedo y humedad relativa.
- 01 distanciómetro digital.
- 01 tubo de Pitot de 100 mm de longitud y 7 mm de diámetro, diseñado para medir la presión total, estática y dinámica.
- 01 caja de tubos de humo.
- 01 medidor de gas (O<sub>2</sub>, CO y NO), marca Altair.

### **3.8 Validación y Confiabilidad de los Instrumentos**

Los equipos empleados en la investigación que se presentaron fueron certificados y calibrados por la empresa Testo y la empresa Instrument Lab S.A.C. Esto otorga una validación y confiabilidad necesarias para la ejecución de la investigación.

			
<b>Certificado de Calibración</b>		<b>V-0014-2023</b>	
<b>Cliente:</b>	NEXA RESOURCES PERÚ S.A.A.	<p>Instruments Lab S.A.C. cuenta con un laboratorio de calibración que trabaja bajo el sistema de gestión NTP ISO/IEC 17025.</p> <p>Los patrones usados en las calibraciones son calibrados reglamentariamente y son trazables a estándares nacionales e internacionales.</p> <p>Los documentos que se han generado como resultado del presente certificado de calibración, son estrictamente confidenciales y por ninguna causa serán exhibidos ni divulgados por el personal de Instruments Lab S.A.C., obligándose a guardar la confidencialidad de la información que se genere o desarrolle.</p> <p>El servicio de calibración es trazable al Sistema Internacional de Unidades de medida (SI).</p>	
<b>Dirección de Cliente:</b>	Av. Circunvalación del Golf los Incas 170 Distrito de Surco-Lima - Peru		
<b>Instrumento:</b>	Medidor Multifunción		
<b>Fabricante:</b>	Tecto SE & Co. KGaA		
<b>Modelo:</b>	Tecto 400		
<b>N° de serie:</b>	62678219		
<b>Código Cliente:</b>	No indica		
<b>Alcance de medición:</b>	0,6 hasta 50 m/s		
<b>Resolución:</b>	0,1 m/s		
<b>Exactitud:</b>	$\pm(0,2 \text{ m/s} + 1 \% \text{ del v.m.})$ (0,6 hasta +40 m/s) $\pm(0,2 \text{ m/s} + 2 \% \text{ del v.m.})$ (40,1 hasta 50 m/s)		
<b>N° de Orden de trabajo:</b>	OT-23-0076		
<b>Fecha de Calibración:</b>	2023-02-13		
<b>Lugar de Calibración:</b>	Instruments Lab S.A.C.		
<b>Incertidumbre de la medición</b>			
La incertidumbre expandida de la medición, fue calculada de acuerdo a las regulaciones de la GUM, con un factor de cobertura $k=2$ , la cual contiene los procedimientos de incertidumbre de la medición y la incertidumbre del sistema de medición.			
<b>Método de Calibración</b>			
Comparación del instrumento con un patrón calibrado, en un medio de generación de flujo controlado.			
<b>Condiciones Ambientales</b>			
<b>Temperatura</b>	23,7 °C	<b>Humedad</b>	42,6 %HR
<b>Emisión Certificado:</b>		Técnico	
2023-02-14		 Miguel Correa	
<b>INSTRUMENTS LAB S.A.C.</b> IL-FCV-001		Pasaje Colonial N° 800 Urb. Los Pinos - Lima 01	+51 1 3603085 +51 1 3603086 www.instrumentslab.com.pe info@instrumentslab.com.pe
		<b>Página</b> 1 de 2	

**Figura 3.1** Certificado de Calibración Testo 400 – 1

Fuente: Instruments LAB S.A.C.

			
<b>Certificado de Calibración</b>		<b>V-0014-2023</b>	
<b>Cliente:</b>	NEXA RESOURCES PERÚ S.A.A.	Instruments Lab S.A.C. cuenta con un laboratorio de calibración que trabaja bajo el sistema de gestión NTP ISO/IEC 17025. Los patrones usados en las calibraciones son calibrados regularmente y son trazables a estándares nacionales e internacionales. Los documentos que se han generado como resultado del presente certificado de calibración, son estrictamente confidenciales y por ninguna causa serán exhibidos ni divulgados por el personal de Instruments Lab S.A.C., obligándose a guardar la confidencialidad de la información que se genere o desarrolle. El servicio de calibración es trazable al Sistema Internacional de Unidades de medida (SI).	
<b>Dirección de Cliente:</b>	Av. Circunvalación del Golf los Incas 170 Distrito de Surco-Lima - Peru		
<b>Instrumento:</b>	Medidor Multifunción		
<b>Fabricante:</b>	Testo SE & Co. KGaA		
<b>Modelo:</b>	Testo 400		
<b>N° de serie:</b>	62678219		
<b>Código Cliente:</b>	No indica		
<b>Alcance de medición:</b>	0,6 hasta 50 m/s		
<b>Resolución:</b>	0,1 m/s		
<b>Exactitud:</b>	±(0,2 m/s + 1 % del v.m.) (0,6 hasta +40 m/s) ±(0,2 m/s + 2 % del v.m.) (40,1 hasta 50 m/s)		
<b>N° de Orden de trabajo:</b>	OT-23-0076		
<b>Fecha de Calibración:</b>	2023-02-13		
<b>Lugar de Calibración:</b>	Instruments Lab S.A.C.		
<b>Incertidumbre de la medición</b>			
La incertidumbre expandida de la medición, fue calculada de acuerdo a las regulaciones de la GUM, con un factor de cobertura k=2, la cual contiene los procedimientos de incertidumbre de la medición y la incertidumbre del sistema de medición.			
<b>Método de Calibración</b>			
Comparación del instrumento con un patrón calibrado, en un medio de generación de flujo controlado.			
<b>Condiciones Ambientales</b>			
<b>Temperatura</b>	23,7 °C	<b>Humedad</b>	42,6 %HR
<b>Emisión Certificado:</b>		Técnico	
2023-02-14		 Miguel Correa	
<b>INSTRUMENTS LAB S.A.C.</b> IL-FCV-001		Pasaje Colonial N° 800 Urb. Los Pinos - Lima 01	+51 1 3803085 +51 1 3803086 www.instrumentslab.com.pe info@instrumentslab.com.pe
		Página 1 de 3	

Figura 3.2 Certificado de Calibración Testo 400 – 2

Fuente: Instruments LAB S.A.C.

### **3.9 Métodos y Técnicas Para la Presentación y Análisis de Datos**

#### **a) Análisis de Observación Directa**

Se observará los controles de los parámetros de la ventilación alineados a la normativa del país, el requerimiento de la mina y a la producción de la mina proporcionada por la unidad Minera.

#### **b) Análisis descriptivo**

De acuerdo al análisis se detalla lo siguiente:

- Cuadros descriptivos de datos – Aforos en Campo.
- Planos en CAD de los puntos de monitoreo de Ventilación.
- Cuadros descriptivos de Balance de Ventilación.
- Gráficos de KPIs de Ventilación.

A través de un procedimiento sistemático, se examinarán las condiciones físicas y ambientales en la mina para llevar a cabo un levantamiento detallado del sistema de ventilación. Esto implica definir la dirección y el volumen del aire en los puntos señalados por el operador, así como medir el flujo de aire tanto en las entradas como en las salidas de la mina, que incluyen las aberturas de la mina, las chimeneas y los ventiladores, según lo requieran las condiciones específicas de la mina.

Durante la fase de planificación, es esencial tener en cuenta que toda mina cuenta con un sistema de ventilación que proporciona aire fresco a las operaciones y, eventualmente, lo libera al medio ambiente una vez que ha cumplido su ciclo, ya sea de forma natural, forzada o combinada. El objetivo es guiar y controlar el flujo de aire a través de las operaciones de la mina mediante un diseño de ventilación adecuado. Esto garantizará que los flujos de aire fresco lleguen a las áreas de producción, mientras que los flujos de aire viciado salgan de la mina sin mezclar y crear

recirculación. Un factor crucial es caracterizar adecuadamente los ventiladores principales y secundarios mediante la utilización de fichas técnicas proporcionadas por el fabricante. Estas fichas contienen información sobre las curvas operativas de los ventiladores, que deben ser consideradas desde el nivel del mar hasta su altura de trabajo.

**c) Análisis estadístico**

Para consolidar los diferentes análisis, se utilizará como análisis estadístico las herramientas de software como Microsoft Excel, AutoCAD y Ventsim que permitirá tener una base sólida de datos recopilados.

**d) Presentación**

Una vez realizado el levantamiento inicial del sistema de ventilación y teniendo una base sólida de ventiladores, se procederá a crear un modelo aproximado de la mina utilizando software especializado. Este modelo se puede calibrar utilizando parámetros como el caudal de aire, la presión y/o el consumo de energía. La precisión del modelo mejorado de la exactitud con la que se lleve a cabo el proceso de calibración. Un modelo fiable se ajustará como punto de referencia para la planificación y ejecución de mejoras en el sistema de ventilación, y también permitirá simular diversas situaciones en la mina, como cambios en el diseño de la mina, la evacuación de gases contaminantes, la detección de áreas sin ventilación y la posibilidad de incendios en la mina.

Adicionalmente el cálculo de la cantidad de aire necesaria para la ventilación adecuada de una mina se realiza considerando diversos parámetros y necesidades establecidas en el Anexo 38 del DS 024-2016-EM y su modificación DS 023-2017-EM. El objetivo de este cálculo es el siguiente:

- Proporcione la cantidad mínima de aire necesaria para asegurar la comodidad de los trabajadores que operan en el interior de la mina.
- Diluir y transportar los gases, polvos, humos y calor generados durante las operaciones mineras.
- Proporcionar las condiciones mínimas necesarias para el funcionamiento de los equipos diésel en el interior de la mina.

### **3.10 Mejoramiento de la Gestión de Ventilación y las Condiciones Termo Ambientales en Minas Subterráneas**

El mejoramiento de la gestión de ventilación minera se desarrolló en una mina del Sur del Perú, se utilizó las metodologías de diseño, software Vetsim y metodología de valuación, de la siguiente manera:

#### **Criterio de Diseño**

El criterio de diseño es un consolidado de procesos ingenieriles en donde se tiene que tomar en cuenta y debe de estar encabezada por un ingeniero con vasta experiencia en minería subterránea, planeamiento, ser calculista y tener el carácter para llevar adelante proyectos que protejan la salud, los equipos y sobre todo convencer y comprometer al Gerente de Operación Mina de la viabilidad del proyecto. Este criterio de diseño está formado por 3 pilares: Demanda de aire fresco, Validación del modelo real y Dimensionamiento principal de Ventilación. (IV) (V)

### 3.11 Demanda de Aire Fresco

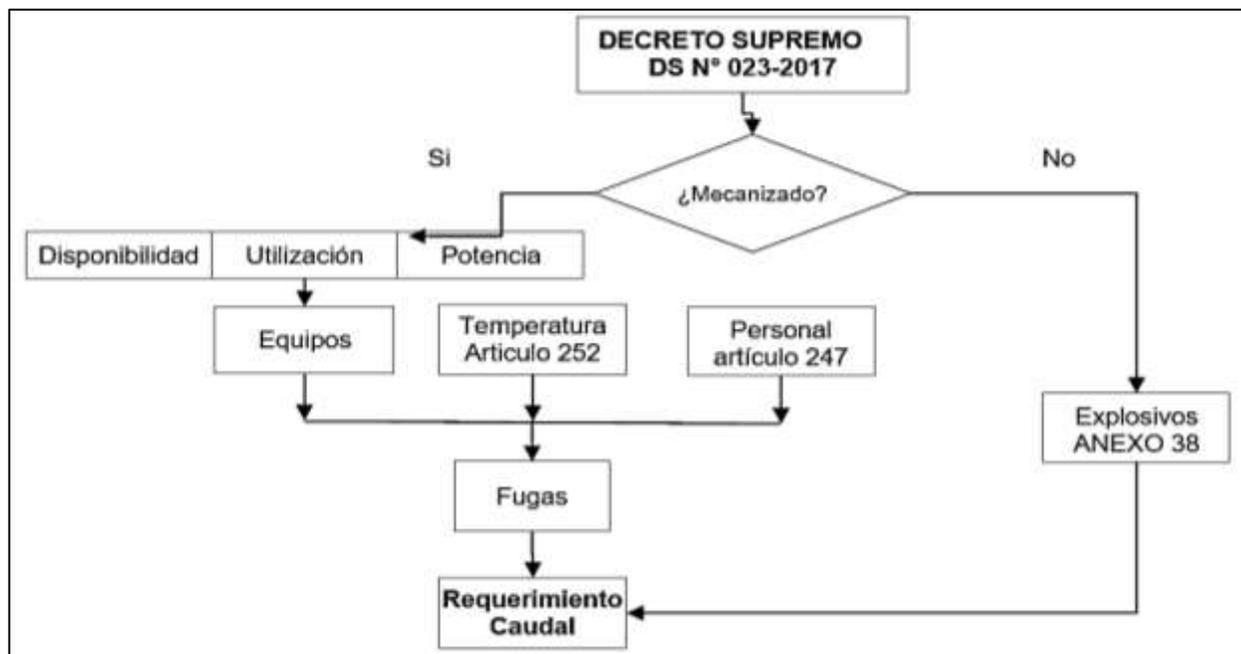
#### 3.11.1 Introducción

Uno de los objetivos del estudio es validar el requisito global de aire fresco de la Unidad Minera. Este memo presenta el método que se ha utilizado para realizar la validación. El requisito de aire fresco total debe establecerse de acuerdo con el plan de producción y de acuerdo con la legislación peruana DS N ° 023-2017. En la Figura 3.3 se muestra el flujograma de requisitos de aire fresco.

#### 3.11.2 Datos de Entrada

##### 3.11.2.1 Ley Peruana: Todas las minas deben de aplicar las partes relevantes de la ley peruana en el dimensionamiento de la ventilación principal.

A continuación, en la figura 3.3. se observa el flujograma de requisitos de aire fresco.



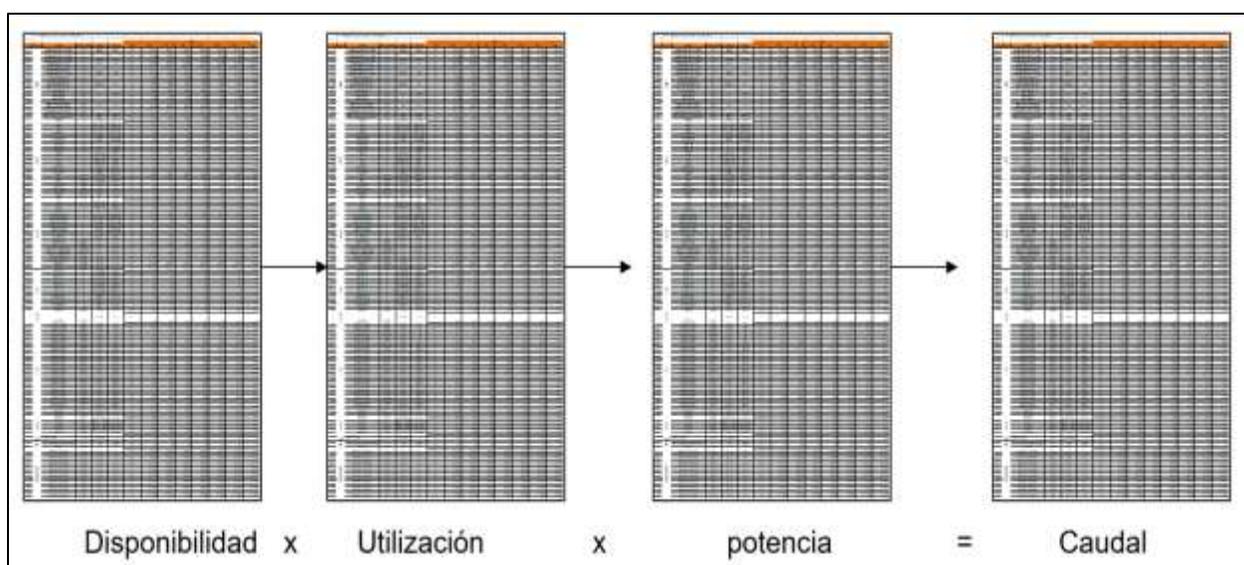
**Figura 3.3** Flujograma de Requisitos de Aire Fresco

Fuente: Elaboración propia

### 3.11.2.2 Disponibilidad, utilización, potencia y caudal por equipos – Relación equipo con motor Petrolero (QEq)

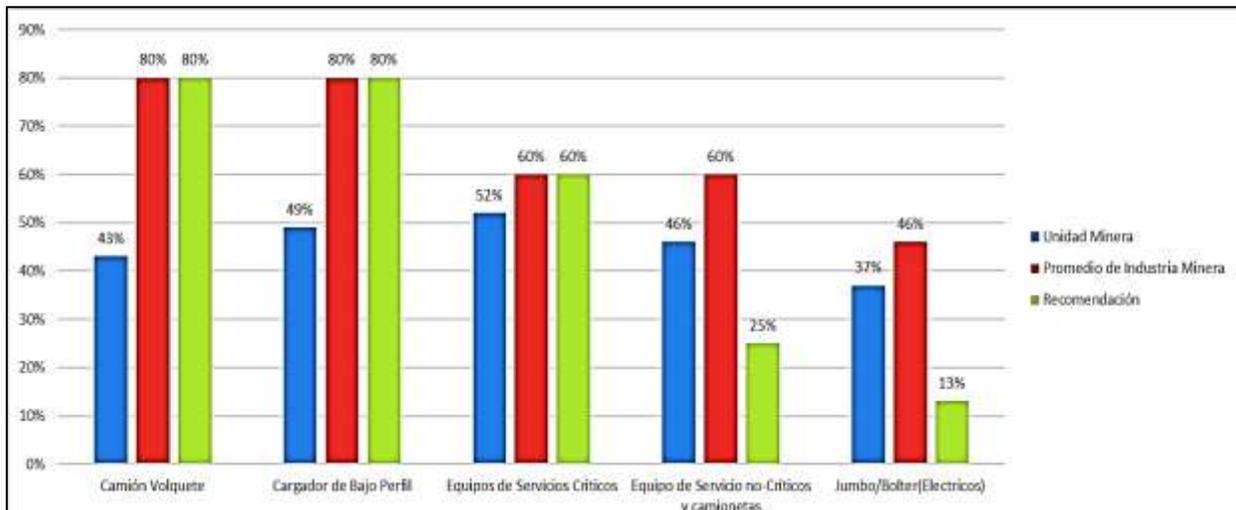
La unidad minera tiene planificado los escenarios de producción y avances desde 2023 al 2030 proporcionando información de planificación en el documento Escenario de Prod y Avanz por AÑOS.xlsx (Ver Tabla 1, Tabla 2, Tabla 3 y Tabla 4). En la figura 3.4 se muestra el cálculo del requerimiento del DS024-2016 EM y su modificatoria DS 023-2017.

Requerimiento de aire para equipos 31,528 m<sup>3</sup>/min (1,110,000 cfm). (Ver Tabla 3.4).



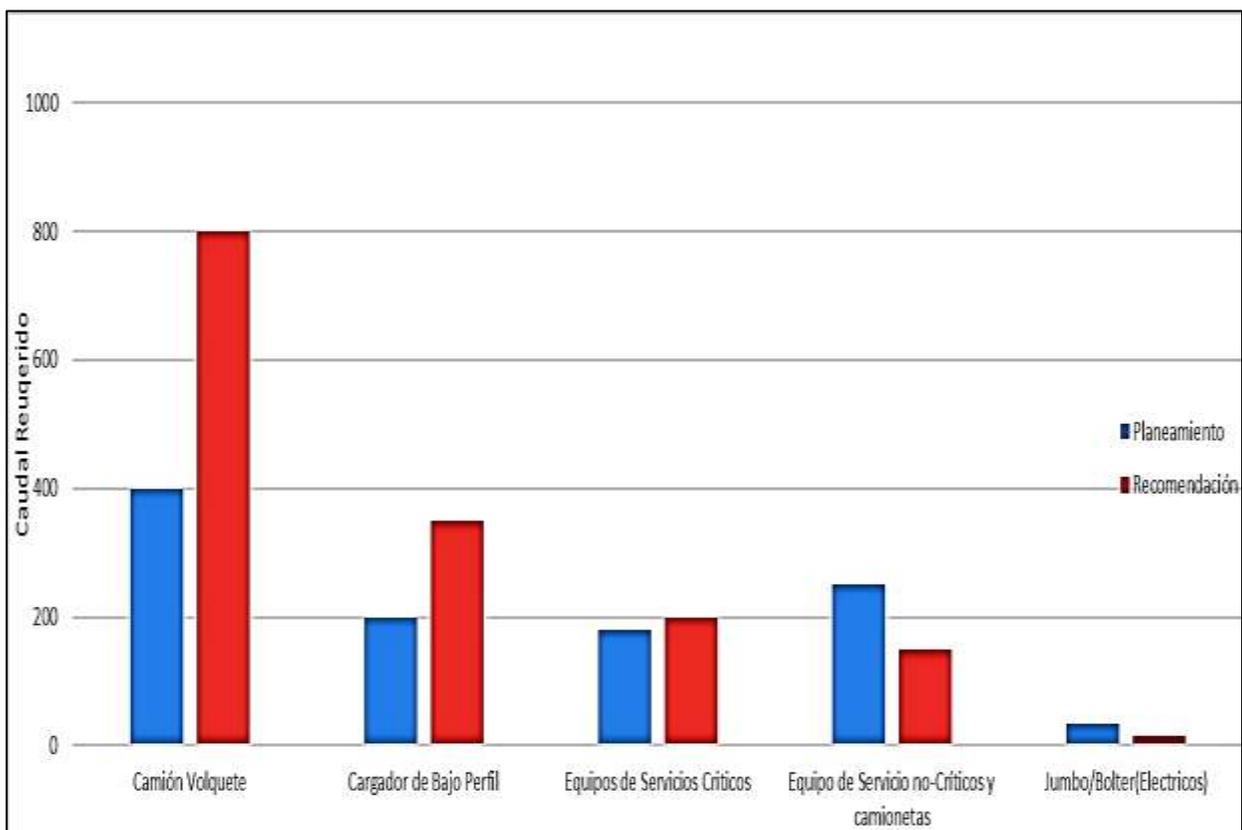
**Figura 3.4** Cálculo del Requerimiento de Aire Fresco Para los Equipos  
Fuente: Elaboración propia

El porcentaje de utilización multiplicado por la disponibilidad de los equipos represente la utilización efectiva de los equipos dentro la mina. En la unidad Minera los valores precisos de la utilización efectiva están bajos de los valores típicos. (Ver Figura 3.5). Recomendamos valores mayores y también recomendamos comparar los valores del estudio con los valores históricos del motor. Así, más flujo de aire sería necesario para los volquetes y los scoops. (Figura 3.6.).



**Figura 3.5** Valores de Utilización Efectivo, Valores Típicos y Recomendación

Fuente: Elaboración propia



**Figura 3.6** Caudal de Aire Requerido con los Valores de Utilización Propuestos

Fuente: Elaboración propia





ITEM	EMPRESA	EQUIPO	PLACA/CODIGO	MARCA	MODELO	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
1	DINET	CAMION VOLQUETE	AEK-814	VOLVO	FMX	61%	61%	61%	61%	61%	61%	61%	61%
2		CAMION VOLQUETE	AEJ-831	VOLVO	FMX	63%	63%	63%	63%	63%	63%	63%	63%
3		CAMION VOLQUETE	AEK-819	VOLVO	FMX	54%	54%	54%	54%	54%	54%	54%	54%
4		CAMION VOLQUETE	AEK-828	VOLVO	FMX	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%
5		CAMION VOLQUETE	AEM-833	VOLVO	FMX	61%	61%	61%	61%	61%	61%	61%	61%
6		CAMION VOLQUETE	AHH-925	VOLVO	FMX	31%	31%	31%	31%	31%	31%	31%	31%
7		CAMION VOLQUETE	AHI-776	VOLVO	FMX	61%	61%	61%	61%	61%	61%	61%	61%
8		CAMION VOLQUETE	APQ 781	VOLVO	FMX 520	62%	62%	62%	62%	62%	62%	62%	62%
9		CAMION VOLQUETE	APQ 869	VOLVO	FMX 520	61%	61%	61%	61%	61%	61%	61%	61%
10		CAMION VOLQUETE	APR 731	VOLVO	FMX 520	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%
11		CAMION VOLQUETE	APM 826	VOLVO	FMX 520	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%
12		CAMION VOLQUETE	APU 936	VOLVO	FMX 520	61%	61%	61%	61%	61%	61%	61%	61%
14		CAMION VOLQUETE	ARD 915	VOLVO	FMX 520	61%	61%	61%	61%	61%	61%	61%	61%
15		CAMION VOLQUETE	ARB 783	VOLVO	FMX 520	62%	62%	62%	62%	62%	62%	62%	62%
16		CAMION VOLQUETE	ARA 756	VOLVO	FMX 520	62%	62%	62%	62%	62%	62%	62%	62%
17		CAMION VOLQUETE	APU 930	VOLVO	FMX 520	61%	61%	61%	61%	61%	61%	61%	61%
18		CAMION VOLQUETE	APU 848	VOLVO	FMX 520	52%	52%	52%	52%	52%	52%	52%	52%
19		CAMION VOLQUETE	APV 774	VOLVO	FMX 520	51%	51%	51%	51%	51%	51%	51%	51%
20		CAMION VOLQUETE	APU 828	VOLVO	FMX 520	32%	32%	32%	32%	32%	32%	32%	32%
21		CAMION VOLQUETE	APZ 705	VOLVO	FMX 520	62%	62%	62%	62%	62%	62%	62%	62%
22		CAMION VOLQUETE	APY 943	VOLVO	FMX 520	46%	46%	46%	46%	46%	46%	46%	46%
23		CAMION VOLQUETE	APZ 733	VOLVO	FMX 520	63%	63%	63%	63%	63%	63%	63%	63%
24		CAMION VOLQUETE	APY 831	VOLVO	FMX 520	61%	61%	61%	61%	61%	61%	61%	61%
25		CAMION VOLQUETE	APY 886	VOLVO	FMX 520	62%	62%	62%	62%	62%	62%	62%	62%
26		CAMION VOLQUETE	APY 854	VOLVO	FMX 520	63%	63%	63%	63%	63%	63%	63%	63%
27		CAMION VOLQUETE	APX 789	VOLVO	FMX 520	61%	61%	61%	61%	61%	61%	61%	61%
28		CAMION VOLQUETE	AKF-709	VOLVO	FMX 520	61%	61%	61%	61%	61%	61%	61%	61%
29		CAMION VOLQUETE	AMW-848	VOLVO	FMX 520	62%	62%	62%	62%	62%	62%	62%	62%
30		CAMION VOLQUETE	AMW-916	VOLVO	FMX 520	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%
31		MOTONIVELADORA	MOT 1	KOMATSU	GD555-5	59%	59%	59%	59%	59%	59%	59%	59%
32		MOTONIVELADORA	MOT 2	KOMATSU	GD555-5	73%	73%	73%	73%	73%	73%	73%	73%
33		CAMIONETA	AMT 737	TOYOTA	HILUX	59%	59%	59%	59%	59%	59%	59%	59%
34		CAMIONETA	ARG 774	TOYOTA	HILUX	63%	63%	63%	63%	63%	63%	63%	63%
35		CAMIONETA	ARG 736	TOYOTA	HILUX	62%	62%	62%	62%	62%	62%	62%	62%
1		AMERICAN	VOLQUETE	APU-911	MERCEDES BENZ	ACTROS 4144 K	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%
2	VOLQUETE		APV-822	MERCEDES BENZ	ACTROS 4144 K	64%	64%	64%	64%	64%	64%	64%	64%
3	VOLQUETE		APV-788	MERCEDES BENZ	ACTROS 4144 K	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%
4	VOLQUETE		ARP-719	MERCEDES BENZ	ACTROS 4144 K	59%	59%	59%	59%	59%	59%	59%	59%
5	VOLQUETE		ARP-906	MERCEDES BENZ	ACTROS 4144 K	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%
6	CAMIONETA		ANF 930	NISSA	FRONTIER	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%
1	TRANS NINJA	CAMION CISTERNA	APL-850	VOLKSWAGEN	17.22	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%
2		CAMION CISTERNA	AJD 715	VOLKSWAGEN	17.22	84%	84%	84%	84%	84%	84%	84%	84%
1	TUMI	MAQUINA PERFORADORA RAISE BORING	R 83	SBM	400 SR	82%	82%	82%	82%	82%	82%	82%	82%
2		MAQUINA PERFORADORA RAISE BORING	R 82	SBM	400 SR	81%	81%	81%	81%	81%	81%	81%	81%
3		camioneta	ANM-865	TOYOTA	HILUX	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%
1	PANA AUTOS	CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUM 717	TOYOTA	HILUX	71%	71%	71%	71%	71%	71%	71%	71%
2		CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUF804	TOYOTA	HILUX	74%	74%	74%	74%	74%	74%	74%	74%
3		CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUF837	TOYOTA	HILUX	72%	72%	72%	72%	72%	72%	72%	72%
4		CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUF805	TOYOTA	HILUX	76%	76%	76%	76%	76%	76%	76%	76%
5		CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUF739	TOYOTA	HILUX	72%	72%	72%	72%	72%	72%	72%	72%
6		CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUF765	TOYOTA	HILUX	71%	71%	71%	71%	71%	71%	71%	71%
7		CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUF764	TOYOTA	HILUX	73%	73%	73%	73%	73%	73%	73%	73%
8		CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUE878	TOYOTA	HILUX	74%	74%	74%	74%	74%	74%	74%	74%
9		CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUE949	TOYOTA	HILUX	71%	71%	71%	71%	71%	71%	71%	71%
10		CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUF716	TOYOTA	HILUX	72%	72%	72%	72%	72%	72%	72%	72%
11		CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUE920	TOYOTA	HILUX	74%	74%	74%	74%	74%	74%	74%	74%
12		CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUE948	TOYOTA	HILUX	76%	76%	76%	76%	76%	76%	76%	76%
13		CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUF740	TOYOTA	HILUX	73%	73%	73%	73%	73%	73%	73%	73%
14		CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUL838	TOYOTA	HILUX	71%	71%	71%	71%	71%	71%	71%	71%
15		CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUG818	TOYOTA	HILUX	76%	76%	76%	76%	76%	76%	76%	76%
16		CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUH753	TOYOTA	HILUX	72%	72%	72%	72%	72%	72%	72%	72%
17	CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUH716	TOYOTA	HILUX	72%	72%	72%	72%	72%	72%	72%	72%	

Fuente: Elaboración propia





ITEM	EMPRESA	EQUIPO	PLACA/CODIGO	MARCA	MODELO	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
1	UNICON	MIXKRET 113	113	PUTZMEISTER	MIXKRET 4	52%	52%	52%	52%	52%	52%	52%	52%
2		MIXKRET 115	115	PUTZMEISTER	MIXKRET 4	55%	55%	55%	55%	55%	55%	55%	55%
3		MIXKRET 116	116	PUTZMEISTER	MIXKRET 4	53%	53%	53%	53%	53%	53%	53%	53%
4		MIXKRET 117	117	PUTZMEISTER	MIXKRET 4	46%	46%	46%	46%	46%	46%	46%	46%
5		MIXKRET 318	318	PUTZMEISTER	MIXKRET 4	55%	55%	55%	55%	55%	55%	55%	55%
6		MIXKRET 104	104	PUTZMEISTER	MIXKRET 4	56%	56%	56%	56%	56%	56%	56%	56%
7		MIXKRET 105	105	PUTZMEISTER	MIXKRET 4	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%
8		MIXKRET 179	179	PUTZMEISTER	MIXKRET 4	45%	45%	45%	45%	45%	45%	45%	45%
9		MIXKRET 181	181	PUTZMEISTER	MIXKRET 4	55%	55%	55%	55%	55%	55%	55%	55%
10		SHOTCRETERA 15	15	SEMMCO	ALPHA 20	56%	56%	56%	56%	56%	56%	56%	56%
11		SHOTCRETERA 17	17	SEMMCO	ALPHA 30	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%
12		SHOTCRETERA 19	19	SEMMCO	ALPHA 30	49%	49%	49%	49%	49%	49%	49%	49%
13		SHOTCRETERA 21	21	SEMMCO	ALPHA 30	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%
14		CAMIONCITO	AUX 755	HINO	DUTRO 4	57%	57%	57%	57%	57%	57%	57%	57%
15		CAMIONETA	F4K-809	TOYOTA	HILUX	54%	54%	54%	54%	54%	54%	54%	54%
1	SANDVICK	CAMIONETA	AKK 931	TOYOTA	HILUX	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%

1	AMERICAN	VOLQUETE	APU-911	MERCEDES BENZ	ACTROS 4144 K	46%	46%	46%	46%	46%	46%	46%	46%
2		VOLQUETE	APV-822	MERCEDES BENZ	ACTROS 4144 K	46%	46%	46%	46%	46%	46%	46%	46%
3		VOLQUETE	APV-788	MERCEDES BENZ	ACTROS 4144 K	45%	45%	45%	45%	45%	45%	45%	45%
4		VOLQUETE	ARP-719	MERCEDES BENZ	ACTROS 4144 K	45%	45%	45%	45%	45%	45%	45%	45%
5		VOLQUETE	ARP-906	MERCEDES BENZ	ACTROS 4144 K	43%	43%	43%	43%	43%	43%	43%	43%
6		CAMIONETA	ANF 930	NISSA	FRONTIER	42%	42%	42%	42%	42%	42%	42%	42%
1	TRANS MINDA	CAMION CISTERNA	APL-850	VOLKSWAGEN	17.22	55%	55%	55%	55%	55%	55%	55%	55%
2		CAMION CISTERNA	AJD 715	VOLKSWAGEN	17.22	55%	55%	55%	55%	55%	55%	55%	55%
1	TUMI	MAQUINA PERFORADORA RAISE BORING	R 83	SBM	400 SR	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
2		MAQUINA PERFORADORA RAISE BORING	R 82	SBM	400 SR	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
3		camioneta	ANM-865	TOYOTA	HILUX	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%

1	PANA AUTOS	CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUM 717	TOYOTA	HILUX	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%
2		CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUF804	TOYOTA	HILUX	42%	42%	42%	42%	42%	42%	42%	42%
3		CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUF837	TOYOTA	HILUX	41%	41%	41%	41%	41%	41%	41%	41%
4		CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUF805	TOYOTA	HILUX	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%
5		CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUF739	TOYOTA	HILUX	41%	41%	41%	41%	41%	41%	41%	41%
6		CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUF765	TOYOTA	HILUX	45%	45%	45%	45%	45%	45%	45%	45%
7		CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUF764	TOYOTA	HILUX	46%	46%	46%	46%	46%	46%	46%	46%
8		CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUE878	TOYOTA	HILUX	42%	42%	42%	42%	42%	42%	42%	42%
9		CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUE949	TOYOTA	HILUX	43%	43%	43%	43%	43%	43%	43%	43%
10		CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUF716	TOYOTA	HILUX	45%	45%	45%	45%	45%	45%	45%	45%
11		CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUE920	TOYOTA	HILUX	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%
12		CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUE948	TOYOTA	HILUX	41%	41%	41%	41%	41%	41%	41%	41%
13		CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUF740	TOYOTA	HILUX	42%	42%	42%	42%	42%	42%	42%	42%
14		CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUL838	TOYOTA	HILUX	41%	41%	41%	41%	41%	41%	41%	41%
15		CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUG818	TOYOTA	HILUX	41%	41%	41%	41%	41%	41%	41%	41%
16		CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUH753	TOYOTA	HILUX	46%	46%	46%	46%	46%	46%	46%	46%
17		CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUH716	TOYOTA	HILUX	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%

Fuente: Elaboración propia





ITEM	EMPRESA	EQUIPO	PLACA/CODIGO	MARCA	MODELO	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
1	INCIMMET	SCOOP	SC 5	CATERPILLAR	R1600H	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0
2		SCOOP	SC 7	CATERPILLAR	R1600H	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0
3		SCOOP	SC 9	CATERPILLAR	R1600H	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0
4		DESATADOR	D 1	PAUS	TLS853-S8	151.0	151.0	151.0	151.0	151.0	151.0	151.0	151.0
5		DESATADOR	D 2	PAUS	TLS853-S8	161.0	161.0	161.0	161.0	161.0	161.0	161.0	161.0
6		JUMBO FRONTONERO	J 6	ATLAS COPCO	BOOMER 282	147.0	147.0	147.0	147.0	147.0	147.0	147.0	147.0
7		JUMBO FRONTONERO	J 7	ATLAS COPCO	BOOMER 282	161.0	161.0	161.0	161.0	161.0	161.0	161.0	161.0
8		JUMBO EMPERNADOR	J 1	RESEMIN	BOLTER 88D	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0
9		JUMBO EMPERNADOR	J 2	RESEMIN	BOLTER 88D	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0
10		JUMBO RAPTOR 55D	R 1	RESEMIN	RAPTOR 55D	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0
11		JUMBO RAPTOR 55XP	R 2	RESEMIN	RAPTOR 55XP	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0
12		JUMBO RAPTOR 55XP	R 3	RESEMIN	RAPTOR 55XP	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0
13		TELEHANDLER	M 1	MANITOU	MT-1030	94.0	94.0	94.0	94.0	94.0	94.0	94.0	94.0
16		TELEHANDLER	M 2	MANITOU	MT-1030	94.0	94.0	94.0	94.0	94.0	94.0	94.0	94.0
17		CAMION GRUA	F9X-709	HINO	DUTRO 5	156.0	156.0	156.0	156.0	156.0	156.0	156.0	156.0
19		CAMION SCISSOR	ASN-836	HINO	DUTRO 5	156.0	156.0	156.0	156.0	156.0	156.0	156.0	156.0
20		CAMION UTILITARIO	AAN-916	HINO	DUTRO	156.0	156.0	156.0	156.0	156.0	156.0	156.0	156.0
21		Camion IZUZU cargador de Anfo	AHO-823	IZUZU	NP5 75L	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0
22		Camion IZUZU cargador de Anfo	AHP-763/EA33	IZUZU	NP5 75L	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0
23		Camion HINO cargador de Anfo	ASH-774	HINO	DUTRO	156.0	156.0	156.0	156.0	156.0	156.0	156.0	156.0
24		CAMION UTILITARIO	V9E-817	HINO	DUTRO 5	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0
25		CAMION PORTA TROPA	V8O-742	TOYOTA	HILUX	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0
26		CAMIONETA	AFH 846	TOYOTA	HILUX	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8
27		CAMIONETA	AFG 813	TOYOTA	HILUX	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8
28		CAMIONETA	AFF 880	TOYOTA	HILUX	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8

1	AMERICAN	VOLQUETE	APU-911	MERCEDES BENZ	ACTROS 4144 K	470.0	470.0	470.0	470.0	470.0	470.0	470.0	470.0
2		VOLQUETE	APV-822	MERCEDES BENZ	ACTROS 4144 K	470.0	470.0	470.0	470.0	470.0	470.0	470.0	470.0
3		VOLQUETE	APV-788	MERCEDES BENZ	ACTROS 4144 K	470.0	470.0	470.0	470.0	470.0	470.0	470.0	470.0
4		VOLQUETE	ARP-719	MERCEDES BENZ	ACTROS 4144 K	470.0	470.0	470.0	470.0	470.0	470.0	470.0	470.0
5		VOLQUETE	ARP-906	MERCEDES BENZ	ACTROS 4144 K	470.0	470.0	470.0	470.0	470.0	470.0	470.0	470.0
6		CAMIONETA	ANF 930	NISSA	FRONTIER	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0
1	TRANS MINCA	CAMION CISTERNA	APL-850	VOLKSWAGEN	17.22	144.0	144.0	144.0	144.0	144.0	144.0	144.0	144.0
2		CAMION CISTERNA	AJD 715	VOLKSWAGEN	17.22	144.0	144.0	144.0	144.0	144.0	144.0	144.0	144.0
1	TUMI	MAQUINA PERFORADORA RAISE BORING	R 83	SBM	400 SR	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0
2		MAQUINA PERFORADORA RAISE BORING	R 82	SBM	400 SR	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0
3		camioneta	ANM-865	TOYOTA	HILUX	130.0	130.0	130.0	130.0	130.0	130.0	130.0	130.0

1	PANA AUTOS	CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUM717	TOYOTA	HILUX	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8
2		CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUF804	TOYOTA	HILUX	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8
3		CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUF837	TOYOTA	HILUX	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8
4		CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUF805	TOYOTA	HILUX	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8
5		CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUF739	TOYOTA	HILUX	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8
6		CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUF765	TOYOTA	HILUX	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8
7		CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUF764	TOYOTA	HILUX	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8
8		CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUE878	TOYOTA	HILUX	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8
9		CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUE949	TOYOTA	HILUX	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8
10		CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUF716	TOYOTA	HILUX	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8
11		CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUE920	TOYOTA	HILUX	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8
12		CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUE948	TOYOTA	HILUX	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8
13		CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUF740	TOYOTA	HILUX	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8
14		CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUL838	TOYOTA	HILUX	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8
15		CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUG818	TOYOTA	HILUX	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8
16		CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUH753	TOYOTA	HILUX	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8
17		CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUH716	TOYOTA	HILUX	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8	168.8

Fuente: Elaboración propia





ITEM	EMPRESA	EQUIPO	PLACA/CODIGO	MARCA	MODELO	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
1	UNICON	MIXKRET 113	113	PUTZMEISTER	MIXKRET 4	163.8	163.8	163.8	163.8	163.8	163.8	163.8	163.8
2		MIXKRET 115	115	PUTZMEISTER	MIXKRET 4	178.2	178.2	178.2	178.2	178.2	178.2	178.2	178.2
3		MIXKRET 116	116	PUTZMEISTER	MIXKRET 4	147.9	147.9	147.9	147.9	147.9	147.9	147.9	147.9
4		MIXKRET 117	117	PUTZMEISTER	MIXKRET 4	130.4	130.4	130.4	130.4	130.4	130.4	130.4	130.4
5		MIXKRET 318	318	PUTZMEISTER	MIXKRET 4	158.4	158.4	158.4	158.4	158.4	158.4	158.4	158.4
6		MIXKRET 104	104	PUTZMEISTER	MIXKRET 4	156.2	156.2	156.2	156.2	156.2	156.2	156.2	156.2
7		MIXKRET 105	105	PUTZMEISTER	MIXKRET 4	141.8	141.8	141.8	141.8	141.8	141.8	141.8	141.8
8		MIXKRET 179	179	PUTZMEISTER	MIXKRET 4	125.6	125.6	125.6	125.6	125.6	125.6	125.6	125.6
9		MIXKRET 181	181	PUTZMEISTER	MIXKRET 4	151.0	151.0	151.0	151.0	151.0	151.0	151.0	151.0
10		SHOTCRETERA 15	15	SEMMCO	ALPHA 20	178.9	178.9	178.9	178.9	178.9	178.9	178.9	178.9
11		SHOTCRETERA 17	17	SEMMCO	ALPHA 30	156.0	156.0	156.0	156.0	156.0	156.0	156.0	156.0
12		SHOTCRETERA 19	19	SEMMCO	ALPHA 30	159.9	159.9	159.9	159.9	159.9	159.9	159.9	159.9
13		SHOTCRETERA 21	21	SEMMCO	ALPHA 30	117.6	117.6	117.6	117.6	117.6	117.6	117.6	117.6
14		CAMIONCITO	AUX755	HINO	DUTRO 4	114.6	114.6	114.6	114.6	114.6	114.6	114.6	114.6
15		CAMIONETA	F4K-809	TOYOTA	HILUX	108.5	108.5	108.5	108.5	108.5	108.5	108.5	108.5
1	SANDVICK	CAMIONETA	AKK 931	TOYOTA	HILUX	142.7	142.7	142.7	142.7	142.7	142.7	142.7	142.7

1	AMERICAN	VOLQUETE	APU-911	MERCEDES BENZ	ACTROS 4144 K	421.6	421.6	421.6	421.6	421.6	421.6	421.6	421.6
2		VOLQUETE	APV-822	MERCEDES BENZ	ACTROS 4144 K	415.1	415.1	415.1	415.1	415.1	415.1	415.1	415.1
3		VOLQUETE	APV-788	MERCEDES BENZ	ACTROS 4144 K	158.6	158.6	158.6	158.6	158.6	158.6	158.6	158.6
4		VOLQUETE	ARP-719	MERCEDES BENZ	ACTROS 4144 K	374.4	374.4	374.4	374.4	374.4	374.4	374.4	374.4
5		VOLQUETE	ARP-906	MERCEDES BENZ	ACTROS 4144 K	394.1	394.1	394.1	394.1	394.1	394.1	394.1	394.1
6		CAMIONETA	ANF 930	NISSA	FRONTIER	131.5	131.5	131.5	131.5	131.5	131.5	131.5	131.5
1	TRANS MANZA	CAMION CISTERNA	APL-850	VOLKSWAGEN	17.22	178.2	178.2	178.2	178.2	178.2	178.2	178.2	178.2
2		CAMION CISTERNA	AJD 715	VOLKSWAGEN	17.22	199.6	199.6	199.6	199.6	199.6	199.6	199.6	199.6
1	TUMI	MAQUINA PERFORADORA RAISE BORING	R 83	SBM	400 SR	49.2	49.2	49.2	49.2	49.2	49.2	49.2	49.2
2		MAQUINA PERFORADORA RAISE BORING	R 82	SBM	400 SR	48.6	48.6	48.6	48.6	48.6	48.6	48.6	48.6
3		camioneta	ANM-865	TOYOTA	HILUX	87.8	87.8	87.8	87.8	87.8	87.8	87.8	87.8

1	PANA AUTOS	CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUM 717	TOYOTA	HILUX	143.9	143.9	143.9	143.9	143.9	143.9	143.9	143.9
2		CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUF804	TOYOTA	HILUX	157.4	157.4	157.4	157.4	157.4	157.4	157.4	157.4
3		CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUF837	TOYOTA	HILUX	149.5	149.5	149.5	149.5	149.5	149.5	149.5	149.5
4		CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUF805	TOYOTA	HILUX	154.0	154.0	154.0	154.0	154.0	154.0	154.0	154.0
5		CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUF739	TOYOTA	HILUX	149.5	149.5	149.5	149.5	149.5	149.5	149.5	149.5
6		CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUF765	TOYOTA	HILUX	161.8	161.8	161.8	161.8	161.8	161.8	161.8	161.8
7		CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUF764	TOYOTA	HILUX	170.1	170.1	170.1	170.1	170.1	170.1	170.1	170.1
8		CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUE878	TOYOTA	HILUX	157.4	157.4	157.4	157.4	157.4	157.4	157.4	157.4
9		CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUE949	TOYOTA	HILUX	154.6	154.6	154.6	154.6	154.6	154.6	154.6	154.6
10		CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUF716	TOYOTA	HILUX	164.1	164.1	164.1	164.1	164.1	164.1	164.1	164.1
11		CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUE920	TOYOTA	HILUX	149.9	149.9	149.9	149.9	149.9	149.9	149.9	149.9
12		CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUE948	TOYOTA	HILUX	157.8	157.8	157.8	157.8	157.8	157.8	157.8	157.8
13		CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUF740	TOYOTA	HILUX	155.3	155.3	155.3	155.3	155.3	155.3	155.3	155.3
14		CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUL838	TOYOTA	HILUX	147.4	147.4	147.4	147.4	147.4	147.4	147.4	147.4
15		CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUG818	TOYOTA	HILUX	157.8	157.8	157.8	157.8	157.8	157.8	157.8	157.8
16		CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUH753	TOYOTA	HILUX	167.8	167.8	167.8	167.8	167.8	167.8	167.8	167.8
17		CAMIONETA TOYOTA 4 X 4	AUH716	TOYOTA	HILUX	127.6	127.6	127.6	127.6	127.6	127.6	127.6	127.6
REQUERIMIENTO DE AIRE PARA EQUIPOS (m3/min)						31,528	31,528	31,528	31,528	31,528	31,528	31,528	31,528

Fuente: Elaboración propia

### 3.11.2.3 Personal – Relación de Personal (QTr)

Según DS N° 024-2016-EM (Modificado DS N° 023-2017 EM); para alturas entre 1500 y 3000 msnm el caudal requerido por persona es de 4 m<sup>3</sup>/min, sabiendo que la altitud de la Unidad Minera en Estudio es de 1800 msnm en promedio.

\* Altitud 1800 msnm = 4 m<sup>3</sup>/min x Persona

**Tabla 3.5**

*Requerimiento de Aire para Personal de la Unidad Minera y Contratas por guardia (QTr).*

EMPRESA	Descripción	F	N	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
<b>COMPAÑÍA UNIDAD MINERA</b>	Desarrollo y preparaciones	4	28	112	112	112	112	112	112	112	112
	Producción	4	32	128	128	128	128	128	128	128	128
	Servicios	4	10	40	40	40	40	40	40	40	40
	Relleno	4	10	40	40	40	40	40	40	40	40
	Ventilación	4	4	16	16	16	16	16	16	16	16
	Inspector de Seguridad	4	3	12	12	12	12	12	12	12	12
	Topografía	4	3	12	12	12	12	12	12	12	12
	Geología	4	3	12	12	12	12	12	12	12	12
<b>CONTRATAS</b>	Personal Unicon	4	15	60	60	60	60	60	60	60	60
	Personal Incimmet	4	50	200	200	200	200	200	200	200	200
	Personal Aesa	4	28	112	112	112	112	112	112	112	112
	Personal Dinet	4	40	160	160	160	160	160	160	160	160
	Personal American	4	20	80	80	80	80	80	80	80	80
	Personal Tranzminsa	4	2	8	8	8	8	8	8	8	8
	Personal Eka	4	3	12	12	12	12	12	12	12	12
	Personal Tumi	4	2	8	8	8	8	8	8	8	8
	Personal Master Drilling	4	10	40	40	40	40	40	40	40	40
	Personal Explomin	4	10	40	40	40	40	40	40	40	40
<b>REQUERIMIENTO DE AIRE TOTAL PARA EL PERSONAL (QTr)-(m3/min)</b>				<b>1092</b>							

Fuente: Elaboración Propia

En donde:

$Q_{Tr}$  = Caudal Total para “n” trabajadores

F = Caudal por persona de acuerdo con lo establecido en el Art. 247 del reglamento = de 4 m<sup>3</sup>/min;

N = Número de Trabajadores de la guardia más numerosa = 273 Trabajadores.

La Unidad Minera en estudio proporcionó información de planificación en el documento Escenario de Prod y Avan por AÑOS.xlsx

Requerimiento de aire por Personal = 1,092 m<sup>3</sup>/min (40,000 cfm). Tabla 4.5.

### 3.11.2.4 Temperatura – Requerimiento de Temperatura (QTe)

$Q_{Te} = V_m \times A \times N$

$Q_{Te}$  = Caudal por Temperatura (m<sup>3</sup>/min);

$V_m$  = Velocidad mínima;

A = Área de la labor promedio;

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

Se realiza el monitoreo de temperaturas en los diferentes niveles obteniendo los promedios presentados en la Tabla 4.6.:

**Velocidad Mínima**

<i>TEMPERATURA SECA (°C)</i>	<i>VELOCIDAD MINIMA (m/min)</i>
< 24	30,00

La Unidad Minera en estudio proporcionó información de planificación en el documento Escenario de Prod y Avan por AÑOS.xlsx

Requerimiento de aire por temperatura = 12,279 m<sup>3</sup>/min (430,000 cfm). Tabla 6.

No hemos revisado la demanda de flujo para el calor para este informe. En otros países, la estimación de calor no sería obligatoria por ley, por lo tanto.

**Tabla 3.6**

*Caudal de Requerido por Temperatura en las Labores de Trabajo (QTe)*

Item	Niveles	Temperatura Prom.	Area (m <sup>2</sup> )	Velocidad (m/min)	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
1	Nv. 1970	26.5	21.375	30	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25
2	Nv. 1940	26	21.375	30	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25
3	Nv. 1910	26	21.375	30	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25
4	Nv. 1880	25	21.375	30	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25
5	Nv. 1875	25	21.375	30	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25
6	Nv. 1850	26	21.375	30	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25
7	Nv. 1820	25	21.375	30	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25
8	Nv. 1800	25.5	21.375	30	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25
9	Nv. 1770	25.5	21.375	30	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25
10	Nv. 1740	25.5	21.375	30	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25
11	Nv. 1710	26.5	21.375	30	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25
12	Nv. 1680	26.5	21.375	30	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25
13	Nv. 1650	26.5	21.375	30	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25
14	Nv. 1640	26.5	21.375	30	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25
15	Nv. 1620	27.5	21.375	30	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25
16	Nv. 1600	28	21.375	30	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25
17	Nv. 1580	28	21.375	30		641.25	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25
18	Nv. 1550	28	21.375	30			641.25	641.25	641.25	641.25	641.25	641.25
19	Nv. 1530	28	21.375	30				641.25	641.25	641.25	641.25	641.25
20	Nv. 1500	28	21.375	30					641.25	641.25	641.25	641.25
<b>Caudal Total por Temperatura en labores de trabajo (QTe)</b>					<b>12,283</b>	<b>12,925</b>	<b>13,568</b>	<b>14,210</b>	<b>14,852</b>	<b>14,853</b>	<b>14,854</b>	<b>14,855</b>

Fuente: Elaboración Propia

### 3.11.2.5 Fugas – Requerimiento por Fugas (QFu)

$$Q_{Fu} = 15\% Q_{T1}$$

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

En donde se tiene la siguiente leyenda:

$Q_{T1}$  = Caudal Total de aire

$Q_{Tr}$  = Caudal Total para n trabajadores.

$Q_{Te}$  = Caudal Requerido por temperaturas en las labores

$Q_{Ma}$  = Caudal requerido por el consumo de madera

$Q_{Eq}$  = Caudal requerido por equipos Diesel

Obteniendo el siguiente resumen:

**Tabla 3.7**

*Caudal de Requerido por Fugas (QFu)*

QT1 (m3/min)							
2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
44,903	45,546	46,188	46,830	47,472	47,468	47,468	47,468
Caudal de requerido por fugas (QFu)							
QFu (m3/min)							
2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
6,735	6,832	6,928	7,025	7,121	7,120	7,120	7,120

Fuente: Elaboración Propia

La Unidad Minera en estudio proporcionó información de planificación en el documento Escenario de Prod y Avan por AÑOS.xlsx

Requerimiento de aire por fugas = 6,735 m<sup>3</sup>/min (240,000 cfm) (15%). Tabla 4.8.

Los Factores de contingencia pueden deberse a muchos efectos:

- Fugas
- Calor
- Equipo adicional (no planificado)
- Frente disponible
- Corrección de densidad
- Gases de voladura

En los estudios alineados al DS se aplica una contingencia del 15% sobre el valor total, que es estándar, sin embargo, esto no tiene en cuenta las zonas individuales.

El presente estudio considerara que la fuga de la Unidad Minera en estudio es aproximadamente del 30%, como se muestra en la Tabla 3.8 y en la Tabla 3.9.

**Tabla 3.8**

*Definiciones de Contingencia*

Ítem de Contingencia	Comentarios	Valor
Fuga	Factor importante, especialmente para una mina antigua que tiene dificultades para controlar los flujos de aire en sus niveles. Algunas de las zonas más lejanas en la Unidad Minera, como los cuerpos más al horizonte, reciben solo un 20-40% del flujo de aire previsto. En tal caso, la fuga para la zona puede considerarse del 60-80%. Esto es algo que se puede controlar con reguladores automatizados. Estimáramos que el valor de fuga promedio para la Unidad Minera es de alrededor del 30%	30%
Calor	Ya está incluido en el análisis.	0%
Equipo adicional	Creemos que la lista de equipos está completa	0%
Frente disponible	Como se mencionó, la ventilación auxiliar no debe tener un impacto en el sistema de ventilación primario.	0%
Corrección de densidad	No debería tener un gran impacto	0%
Gases de tronadura	Las voladuras ocurren entre turnos; normalmente no se debe permitir que ningún personal ingrese a la mina si la concentración de gas está por encima de los límites del umbral.	0%
		<b>30%</b>
		<b>16,374 m<sup>3</sup>/min</b>
		<b>580,000 cfm</b>

**Fuente:** Elaboración Propia

**Tabla 3.9***Caudal de Requerido por Fugas con Propuestas del Tesista (QFu)*

QT1 (m3/min)							
2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
44,903	45,546	46,188	46,830	47,472	47,468	47,468	47,468
Caudal de requerido por fugas (QFu)							
QFu (m3/min)							
2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
13,471	13,664	13,856	14,049	14,242	14,241	14,241	14,241

Fuente: Elaboración Propia

**3.11.2.6 Cantidad por Año****Tabla 3.10***Ventilación Total Necesaria – Unidad Minera (2023 a 2030)*

AÑO	Requerimiento de aire de personas	Requerimiento de aire de Equipos	Requerimiento de aire por Temperatura	Requerimiento de aire por Fugas	FLUJO TOTAL
2023	1,092	31,528	12,279	6,735	51,634
2024	1092	31528	12,921	6,831	52,373
2025	1092	31528	13,564	6,928	53,112
2026	1092	31528	14,206	7,024	53,850
2027	1092	31528	14,848	7,120	54,589
2028	1092	31528	14,849	7,120	54,590
2029	1092	31528	14,849	7,120	54,590
2030	1092	31528	14,849	7,120	54,590

Fuente: Elaboración Propia

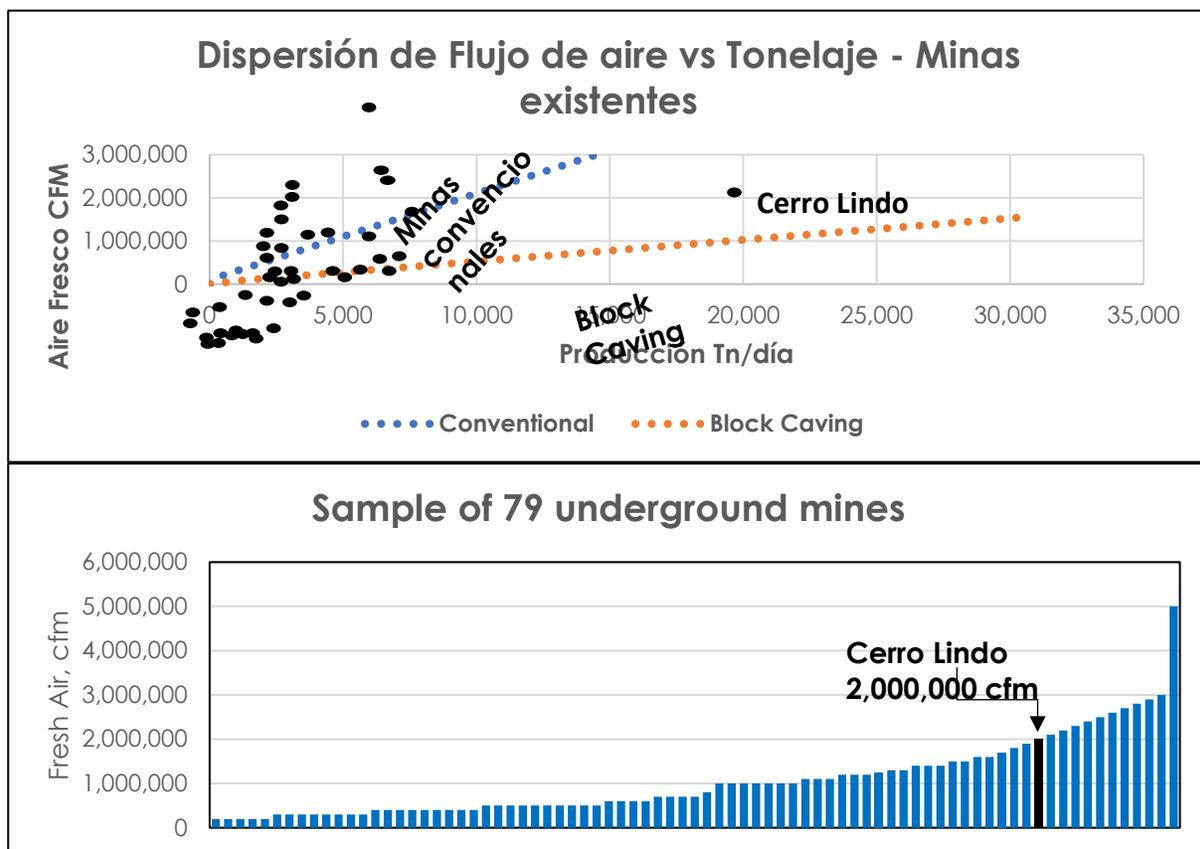
La Unidad Minera en estudio proporcionó información de planificación en el documento

Escenario de Prod y Avan por AÑOS.xlsx

Requerimiento de aire de flujo total informado por la Unidad Minera en estudio es 51,634 m3/min (1,828,980 cfm). Tabla 4.10.

### 3.11.3 Benchmark

En la industria, los datos empíricos (flujo de aire en función de toneladas por día) permiten al área de planeamiento comparar sus minas con otras operaciones. Como se observa en la Figura 3.7, la unidad minera en estudio tiene una producción 20,000 Ton/día considerándose una mina muy grande entre sus pares en términos de tonelaje y flujo de aire. Sin embargo, es difícil recomendar una cantidad de flujo de aire para esta Unidad Minera, ya que el método de minería es una combinación de sublevel stoping y sublevel caving, lo que coloca a la mina en una categoría entre block caving y minas convencionales.



**Figura 3.7** Benchmark de Aire Fresco Forneido a Minas en Actividad  
Fuente: Elaboración Propia

### 3.11.4 Resultados y Discusión

- Se validó y revisó los requisitos de aire fresco para la operación de Unidad Minera en estudio.
- Luego de la validación se sugiere aumentar el requerimiento de aire fresco para cada uno de los años hasta el 2030, sin embargo, esto no afectará el balance de flujo de aire de la mina, ya que se estima que la cobertura es mucho más del 100% del requerimiento.
- La Tabla 3.11 presenta el resumen de la demanda por año según lo preparado por la Unidad Minera y según lo recomendado por el tesista.

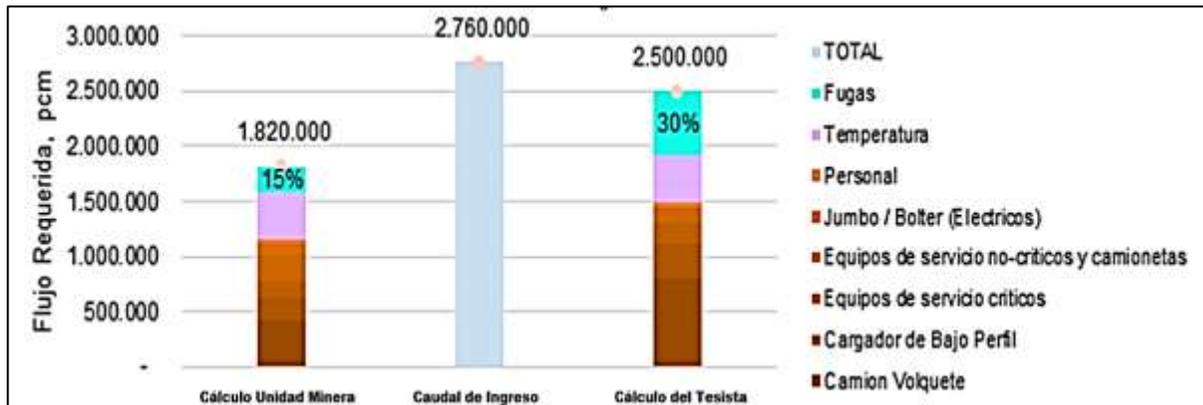
**Tabla 3.11**

*Demanda de Caudal de la Unidad Minera (2023 a 2030)*

AÑO	Caudal ingreso		Demanda calculada para Unidad Minera			Demanda calculada por Tesista		
	m3/min	cfm	m3/min	cfm	Cobertura	m3/min	cfm	Cobertura
2023	65,453	2,310,000	51,634	1,820,000	127%	70,788	2,500,000	92%
2024	78,196	2,760,000	52,373	1,850,000	149%	71,921	2,540,000	109%
2025	78,196	2,760,000	53,112	1,880,000	147%	72,770	2,570,000	107%
2026	78,196	2,760,000	53,850	1,900,000	145%	73,336	2,590,000	107%
2027	78,196	2,760,000	54,589	1,930,000	143%	74,186	2,620,000	105%
2028	78,196	2,760,000	54,590	1,930,000	143%	74,186	2,620,000	105%
2029	78,196	2,760,000	54,590	1,930,000	143%	74,186	2,620,000	105%
2030	78,196	2,760,000	54,590	1,930,000	143%	74,186	2,620,000	105%

Fuente: Elaboración Propia

- La diferencia en la estimación de la Unidad Minera a lo recomendado por el tesista se debe a la evaluación de la utilización del equipo y a la estimación de fugas (ver Figura 3.8).



**Figura 3.8** Diferencia de Cálculo de Caudal Unidad Minera y Propuesta Tesista  
Fuente: Elaboración Propia

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.

## 3.12 Validación del Modelo Real

### 3.12.1 Introducción

El objetivo de la validación del modelo real es la revisión de los parámetros básicos de ventilación y termodinámica insertados en el Modelo VentSim suministrado por la Unidad Minera. El modelo validado garantizara las propuestas realizadas a futuro en el LOM pues estaremos con un modelo base adecuado. La Unidad Minera proporciono el siguiente archivo VentSim:

Filename: largo plazo Unidad Minera al 2030.vsm.

### 3.12.2 Revisión de los Parámetros del Ventsim

La Tabla 3.12 ofrece un resumen de las variables dentro del software Ventsim que se refieren a la mecánica de los fluidos y a la ventilación básica (es decir, presión, elevación, temperatura ambiente y resistencias). Algunos elementos de la tabla incluyen explicaciones adicionales, según sea necesario, junto con las consecuencias si el parámetro se especifica incorrectamente o está ausente.

**Tabla 3.12**

*Verificación Básica del Modelo Ventsim*

Verificación	Declaración	Explicación / Recomendación	Consecuencia al proyecto
a) El modelo se ha actualizado para representar con precisión las extensiones físicas actuales de la operación.	<input checked="" type="checkbox"/> Completo <input type="checkbox"/> Incompleto		
b) Las etapas del modelo están incluidas y claramente identificadas o documentadas.	<input type="checkbox"/> Completo <input checked="" type="checkbox"/> Incompleto <input type="checkbox"/> N/A	Se debe tener siempre el nombre de la etapa correspondiente al año	-
c) Los ventiladores han sido verificados para ser ingresados con precisión en el modelo.	<input type="checkbox"/> Completo <input checked="" type="checkbox"/> Incompleto	Ver nota <sup>1</sup>	
d) Los flujos representados en el modelo se consideran suficientemente precisos para fines de planificación. (Balance de admisión-escape, flujos en las principales uniones y reguladores, dentro del 10-20% de los flujos medidos reales).	<input checked="" type="checkbox"/> Completo <input type="checkbox"/> Incompleto <input type="checkbox"/> N/A (minas nuevas)		
Parámetro	Valor	Explicación / Recomendación	Consecuencia al proyecto
e) Temperatura de bulbo seco de superficie (°C)	21.2°C	Correcto	Debe representar las condiciones ambientales en "Dato en Superficie de MineGrid". Una diferencia de 200 m en elevación significa aproximadamente 2°C en bulbo seco.
f) Temperatura de bulbo húmedo en superficie (°C)	16.8	Correcto	

<sup>1</sup> Los ventiladores en el modelo de la Unidad Minera tienen una curva adaptada a las mediciones de campo, pero no deben ser modificados así. Se recomienda reinicializar las curvas de ventiladores a las curvas de fabricante, y hacer el ajuste de la resistencia para que los ventiladores del modelo correspondan a las mediciones del campo.

Verificación	Declaración	Explicación / Recomendación	Consecuencia al proyecto
g) Dato de Altitud en la Superficie (opcional, en caso de que sea configurado, volverá a calcular la presión barométrica de superficie)	1,718.2 m	Correcto	
h) Dato en Superficie de MineGrid (m)	2,013.1 m	Debe ser 1718.2 m	-
i) Presión Barométrica en Superficie (kPa)	82.3 kPa	Corresponde al dato de superficie sobre el nivel del mar.	
j) Caudales compresibles	Encendido	Necesario para la corrección de densidad entre ventiladores y calor.	
k) Ajuste de factores de fricción debido a densidad	Encendido		
l) Ventilación Natural (debe estar en OFF a menos que los parámetros de calor hayan sido verificados)	Encendido	Correcto	posible impacto importante
m) Pérdida por choque	Ninguno	Debe hacer aforos para configurar resistencias de reguladores. Mire nota (1)	
n) Resistencias fijas			

Fuente: Elaboración propia

Para explicar el parámetro k de la Tabla 3.12, véase la siguiente Ecuación 1 que relaciona el factor de fricción de Darcy al factor de fricción Atkinson (que es una función de la densidad local).

$$f_{darcy} = \frac{8k_{atk}}{\rho_{ref}}$$

**Ecuación 1**

Donde:

$\rho_{ref}$ : la densidad de referencia asociada al factor de fricción de Atkinson, típicamente tomada en condiciones de STP con el valor de 1,2 kg/m<sup>3</sup>.

Una vez que el factor de fricción de Atkinson es conocido para un tipo particular de galería, él puede estar relacionado a pérdida de presión estática por la ecuación simplificada de energía 1-D<sup>2</sup> Ecuación 2 abajo.

$$\Delta p = \rho \left[ K \frac{\bar{U}^2}{2} - g\Delta z \right]$$

**Ecuación 2**

<sup>2</sup> Robert W. Fox, Alan T. McDonald, Philip J. Pritchard. *Introduction to Fluid Mechanics*. 6<sup>th</sup> Ed. John Wiley & Sons, 2004

Donde

$\Delta p$ : elevación de presión estática

$\rho$ : densidad efectiva en determinada galería

$K = \left( f_{darcy} \frac{L}{D_h} \right)$ : factor K o pérdida de choque: es una función del factor de fricción de

Darcy, del largo de la galería y del diámetro hidráulico.

$\bar{U}$  : velocidad media de la galería

$g\Delta z$ : termo de potencial de presión en función de la diferencia de elevación, dentro de la galería, en presión estática.

### 3.12.3 Parámetros de Calor de los Estratos

La Tabla 3.13 muestra los parámetros relacionados con las condiciones de los estratos, que se utilizan en la evaluación del calor subterráneo de la roca en la Ecuación 3. Los parámetros a, b, f, g y h son necesarios para calcular lo que se conoce como el gradiente adimensional "G".

$$q_s = hA \left[ \underbrace{\frac{G}{B} (VRT - t_{bulk}) \left( 1 - \frac{\chi}{100} \right)}_{\text{calor sensible}} + \underbrace{(t_{ws} - t_{bulk}) \frac{\chi}{100}}_{\text{calor latente}} \right]$$

**Ecuación 3**

Donde

$G$ : gradiente de temperatura adimensional en la roca en la superficie.

$h$ : coeficiente global de transferencia de calor [W/m<sup>2</sup>]

$VRT$ : temperatura de la roca virgen, función de los **parámetros d y c**

$B$ : número de Biot, es la relación de las resistencias térmicas *dentro de un cuerpo y en la superficie* de dicho cuerpo

$\chi$ : contenido de humedad [0 – 100%], referir al **parámetro e**

$t_{bulk}$ : temperatura media de la galería [°C]

$A$ : área de superficie [ $m^2$ ]

$q_s$ : flujo de calor de los estratos [W]

**Parámetro h**, edad de la roca, afecta la cantidad de calor transmitida de la roca hacia el aire. Cuanto más vieja la misma sea, menos calor es emitido y viceversa.

**Tabla 3.13**

*Parámetros de Modelamiento de Calor*

Parámetros	Valor en Modelo	Explanación / Recomendación	Consecuencia para proyecto
a) Conductividad Térmica de la Roca (W/mK)	2.0		
b) Difusividad Térmica de la Roca ( $m^2/s$ )	$0.938 \cdot 10^{-6} m^2/s$		
c) Gradiente Geotérmico	3.0 C/100m		
d) Temperatura de la Roca Superficial ( $^{\circ}C$ )	19.0 C	Suficiente para planificación largo plazo	
e) Fracción de la humedad de la roca (%)	15		
f) Calor específico de la roca	790.0 J/kgC		
g) Densidad de la roca ( $kg/m^3$ )	$2,700 kg/m^3$		
h) Edad de la Roca (meses)	5 años		

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 3.14**

*Definiciones de Tipo de Conducto de Aire*

Tipo de Conducto de Aire	Factor de Fricción, $kg/m^3$	Dimensiones	Explanación / Recomendación
a) Galería de Transporte		Varia	Correcto
b) Rampas/declive/acceso		Varia	Correcto
c) Raise - irregular		ningún	
d) Raisebore		$\Phi$ : 3.1 m	Correcto
e) Ducto Ducto		ningún	

Fuente: Elaboración Propia

#### **3.12.4 Resultados y Discusión**

Los parámetros del modelo son correctos para planeamiento largo plazo, siendo un modelo de la unidad minera obteniendo una calibración de 90%. El archivo se encuentra en: largo plazo Unidad Minera al 2030.vsm. (Ver Anexo 3 y 4).

### **3.13 Aspectos de Seguridad y Salud Ocupacional en Ventilación de Minas Subterráneas**

#### **3.13.1 Introducción**

La minería subterránea es una actividad esencial para la economía mundial, proporcionando una variedad de minerales y metales necesarios para diversas industrias. Sin embargo, esta actividad presenta desafíos únicos en términos de gestión ambiental y seguridad ocupacional, especialmente en lo que respecta a la ventilación y las condiciones termo-ambientales. La adecuada ventilación de las minas subterráneas es crucial no solo para la eficiencia operativa, sino también para garantizar la salud y seguridad de los trabajadores.

En este contexto, la presente tesis se centra en el mejoramiento de la gestión de ventilación y las condiciones termo-ambientales en minas subterráneas. La ventilación eficaz en minas subterráneas desempeña un papel vital en la dilución y eliminación de gases tóxicos, control del polvo, y mantenimiento de temperaturas y humedad en niveles seguros. Estos factores son determinantes para prevenir enfermedades ocupacionales y garantizar un entorno de trabajo seguro.

#### **3.13.2 Aspecto de Seguridad de Salud Ocupacional**

El manejo de la ventilación en minas subterráneas no solo tiene implicaciones operativas, sino también profundas repercusiones en la seguridad y salud ocupacional de los trabajadores. Una ventilación inadecuada puede dar lugar a la acumulación de gases peligrosos como el monóxido

de carbono y el metano, así como a condiciones extremas de temperatura y humedad, lo que incrementa el riesgo de enfermedades respiratorias, estrés térmico y otros problemas de salud. (VI)

### **3.13.3 Riesgos Asociados a una Ventilación Inadecuada**

La ventilación inadecuada en minas subterráneas representa un peligro significativo tanto para la salud de los trabajadores como para la seguridad operativa. Entre los principales riesgos se encuentran:

#### ➤ **Exposición a Gases Tóxicos**

La acumulación de gases tóxicos, como el monóxido de carbono (CO), metano (CH<sub>4</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), es uno de los peligros más graves en ambientes subterráneos. La exposición a estos gases puede causar asfixia, intoxicación, y en casos extremos, la muerte.

#### ➤ **Polvo y Partículas**

El polvo generado por las actividades mineras puede contener sílice, la cual es responsable de enfermedades respiratorias graves como la silicosis. Además, el polvo de carbón puede causar neumoconiosis (enfermedad del pulmón negro).

#### ➤ **Estrés Térmico**

Las altas temperaturas y la humedad pueden causar estrés térmico, llevando a fatiga extrema, calambres por calor, agotamiento por calor y golpe de calor. Estas condiciones no solo afectan la salud de los trabajadores, sino que también disminuyen su productividad y capacidad de tomar decisiones seguras.

#### ➤ **Enfermedades Ocupacionales**

Enfermedades como la neumoconiosis, asbestosis y la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) son comunes en trabajadores expuestos a polvo y otros contaminantes en el

aire durante períodos prolongados. (XII)(XIII)

### **3.13.4 Medidas Preventivas y Correctivas**

Para mitigar estos riesgos, es fundamental implementar medidas preventivas y correctivas efectivas, basadas en normativas y mejores prácticas de la industria minera.

#### ➤ **Monitoreo y Control de la Calidad del Aire**

Sistemas de Monitoreo Continuo: Implementar sistemas de monitoreo continuo que detecten niveles peligrosos de gases tóxicos y polvo en tiempo real. Esto incluye el uso de sensores y alarmas que alerten a los trabajadores de cualquier anomalía.

Ventilación Forzada: Asegurar la existencia de sistemas de ventilación forzada que proporcionen un flujo constante de aire fresco y remuevan el aire contaminado. Los ventiladores y conductos deben ser inspeccionados y mantenidos regularmente.

#### ➤ **Equipos de Protección Personal (EPP) y Formación de los Trabajadores**

Equipos de Protección Personal (EPP): Proveer a los trabajadores con EPP adecuados, como mascarillas con filtros para polvo y respiradores para gases tóxicos. Además, es crucial asegurar que los trabajadores estén entrenados en el uso correcto de estos equipos.

Capacitación y Formación: Desarrollar programas de capacitación continuos que eduquen a los trabajadores sobre los riesgos asociados a la ventilación inadecuada y las medidas de seguridad necesarias. Esto incluye simulacros de evacuación y entrenamiento en primeros auxilios.

#### ➤ **Mejoras en Infraestructura y Tecnologías**

Actualización de Sistemas de Ventilación: Evaluar y actualizar los sistemas de ventilación existentes para asegurarse de que cumplen con las normativas actuales y las mejores prácticas de la industria.

Tecnologías Innovadoras: Adoptar tecnologías innovadoras, como sistemas de ventilación inteligente que ajustan automáticamente el flujo de aire basado en las condiciones ambientales y la presencia de trabajadores.

➤ **Programas de Salud Ocupacional**

Evaluaciones Médicas Periódicas: Realizar evaluaciones médicas periódicas a los trabajadores para detectar tempranamente cualquier signo de enfermedad ocupacional.

Promoción de la Salud: Implementar programas de promoción de la salud que incluyan campañas sobre la importancia de la hidratación, descanso adecuado y el uso correcto del EPP.

### 3.13.5 Normativas y Regulaciones

La seguridad y salud en la ventilación de minas subterráneas están reguladas por una serie de normativas internacionales y nacionales que establecen los estándares mínimos de calidad del aire y seguridad. Entre las más destacadas se encuentran:

➤ **Normativas Internacionales:**

- **ISO 23875:** "Mining — Air quality control systems for operator enclosures — Performance requirements and test methods", que especifica los requisitos de control de la calidad del aire en minas.
- **OSHA (Occupational Safety and Health Administration):** Varias regulaciones relacionadas con la calidad del aire y ventilación en ambientes subterráneos.

➤ **Normativas Nacionales:**

- **Decreto Supremo N 023-2017-EM Modifica el Decreto Supremo N 024-2016-EM:** Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, que incluye disposiciones específicas sobre la ventilación en minas subterráneas.

- **Ley N° 29783:** Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo, que establece los derechos y deberes de los trabajadores y empleadores en materia de seguridad y salud en el trabajo.

Implementar estas medidas preventivas y correctivas, junto con el cumplimiento estricto de las normativas y regulaciones, es esencial para garantizar un ambiente de trabajo seguro y saludable en las minas subterráneas.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **4.1 Dimensionamiento Principal de ventilación**

##### **4.1.1 Introducción**

El objetivo principal del dimensionamiento principal de ventilación es proporcionar un análisis de las chimeneas de inyección y extracción planificados con el archivo VentSim proporcionado, “largo plazo Unidad Minera al 2030 (HST)”. Se espera que la nueva chimenea de inyección en 2024 proporcione aire fresco adicional a las frentes de desarrollo en los cuerpos del OB 7,8,9, que se encuentran al extremo de la unidad minera, mientras que la chimenea de extracción se desarrollará antes, en 2023. Una revisión de las legislaciones mineras peruanas con respecto a flujos de aire y velocidades en diferentes galerías son necesarias para comprender los requisitos de aire fresco en la chimenea.

Se enfatiza que las soluciones y recomendaciones en este documento deben ser básicas. Un modelo financiero que da cuenta de la ecuación de energía es el método adecuado para ayudar en la optimización del dimensionamiento de piques. A continuación, se detallará la metodología del dimensionamiento principal.

## 4.1.2 Datos de Entrada

### 4.1.2.1 Decreto Minero Peruano

Una revisión del decreto minero peruano DS-024-2016 muestra dos artículos con mandatos sobre la velocidad: 248 y 411c, que se muestran respectivamente en la Figura 4.1 y la Figura 4.2. El Artículo 248 establece que la velocidad en las frentes de desarrollo no debe exceder los 250 m / min. (4.2 m / s), y debe estar sobre los 25 m / min (0.4 m / s) en labores donde se emplean explosivos. El artículo 411 menciona las velocidades máximas en los izajes de jaulas con hombres por piques a varias profundidades. Desafortunadamente, ninguno de los artículos proporciona información sobre velocidades de aire en chimeneas.

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

**Figura 4.1** Artículo N°248 del Decreto Peruano DS-024-2016

Fuente: DS 024 2016

Artículo 411.- Las características y uso de la jaula para el transporte de trabajadores son los siguientes:

c) La velocidad de la jaula que transporta trabajadores no excederá de ciento cincuenta metros (150 m) por minuto en piques de menos de doscientos (200) metros de profundidad. Para piques de mayor profundidad a doscientos metros (200 m) y cuyo sistema de control de izaje no es automatizado, la velocidad no debe exceder de doscientos cincuenta (250) metros por minuto. Para piques mayores a doscientos metros (200 m) de profundidad y cuyo sistema de control de izaje es automatizado, la velocidad no podrá exceder de cuatrocientos treinta (430) metros por minuto.

**Figura 4.2** Artículo N°411C del Decreto Peruano DS-024-2016

Fuente: DS 024 2016

#### 4.1.2.2 Decreto Minero Peruano DS-023-2017-EM

Dentro de 023-2017-EM, el anexo 38 analiza las 5 cláusulas que comprenden los requisitos de flujo de aire fresco de la operación minera. Incluye especificaciones separadas por trabajadores, uso de madera, equipos diésel, temperaturas de trabajo elevadas y fugas. El requisito de flujo de aire para los trabajadores viene dado por la Ecuación 4.

$$Q_{tr} = 4 \times N \dots (\text{m}^3/\text{min}) \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

4 es la constante ( $\text{m}^3/\text{min}$ ) asociada a una elevación entre 1500 - 3000 m. Unidad Minera está ubicado a 1872 m sobre el nivel del mar.

N = Número de trabajadores

El uso de la madera convierte el oxígeno en  $\text{CO}_2$  y  $\text{CH}_4$ . Para diluir estos humos, se requiere un flujo adicional con su fórmula dada por la Ecuación 5.

$$Q_{Ma} = T \times u \dots (\text{m}^3/\text{min}) \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

T = tonelada húmeda por turno.

u = porcentaje de madera que se utilizó por turno.

La Unidad Minera, no consume madera el cual esta especificado en el archivo “Balance y REQUERIMIENTO EQUIPOS JULIO.xlsx”, se especifica que el uso de la madera en la mina es del 0%. Por lo tanto, la cantidad de flujo especificada anteriormente es nula.

El requerimiento de flujo para equipos diésel está dado por la Ecuación 6,

$$Q_{eq} = 3 \times \text{HP} \times \gamma \times \delta \dots (\text{m}^3/\text{min}) \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde

HP = potencia efectiva del motor...[hp]

$\gamma$  = disponibilidad de la máquina...[%]

$\delta$  = factor de utilización...[%]

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

Para atenuar temperaturas excesivas, se proporciona un análisis de flujo adicional por ecuación 7

[ 0 ... DB < 24° C ≤ ]

$$V_{min} = \left[ \begin{array}{l} [ 0 \dots \text{DB} < 24^\circ \text{C} \leq ] \\ [ 30 \dots 24^\circ \text{C} \leq \text{DB} < 29^\circ \text{C} ] \end{array} \right] (\text{m}^3/\text{min}) \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

A = Área seccional del frente de trabajo --- (m<sup>2</sup>)

Nv= Número de niveles excediendo 23°C

Por lo tanto, el conjunto de flujo de contenido debería ser el máximo de las condiciones individuales con una tolerancia extra para las fugas, dado por Ecuación 8.

$$Q_{total} = 1.15 (Q_{tr} + Q_{Ma} + Q_{eq} + Q_{te}) \dots (\text{m}^3/\text{min}) \quad \text{Ecuación 8}$$

✓ *Ejemplo de requerimientos de aire in una frente de desarrollo*

Las actividades de desarrollo en una frente con mayor demanda normalmente se definen por la presencia de un scoop y un camión. Los parámetros requeridos para calcular la demanda de aire fresco en tal frente de trabajo se proporcionan en la Tabla 4.1,

**Tabla 4.1**

*Parámetros de Entrada para Cálculo de la Demanda de Flujos en Frentes de Desarrollo*

<b>Parámetros</b>	<b>Valor</b>
HP <sub>truck</sub> [HP] γ [%] δ [%]	520 61 47
HP <sub>scoop</sub> [HP] γ [%] δ [%]	389 62 51
Número de trabajadores por frente	5
Niveles que exceden 23°C	1
Área [m <sup>2</sup> ]	21

Fuente: Elaboración Propia

Por lo tanto, de acuerdo con 023-2017-EM y la Ecuación 8, el flujo necesario en cada frente debe ser el siguiente:

$$Q_{\text{total}} = 1686 \text{ m}^3/\text{min}$$

Comparando estos resultados con las prácticas de la minería de América del Norte, se aplicaría una tasa de dilución constante de 0.06 m<sup>3</sup>/s por kW de potencia del motor diésel. Esto equivaldría a un caudal de 2438 m<sup>3</sup> / min, o aproximadamente un 50% mayor que el calculado por 023-2017-EM.

#### **4.1.2.3 DS-024-2016-EM Comparado con la Literatura**

Se entiende y aprecia los contenidos de DS-024-2016-EM. Sin embargo, es igualmente importante reconocer los límites de velocidad aceptados internacionalmente en minas subterráneas

y usarlos como referencia. La Figura 4.3 enumera las velocidades máximas para varios tipos de galerías. Por ejemplo, la velocidad de umbral en las frentes de trabajo no debe exceder los 4 m / s por razones de confort (es decir, arrastre de polvo, sobre enfriamiento), que está de acuerdo con el artículo 248. Se recomienda que las chimeneas tengan un máximo de 10 m/s para evitar elevadas fuerzas actuando en sobre los medios de transporte (es decir, jaulas de hombre). Los piques de ventilación y las chimeneas no deben tener velocidades de aire superiores a 20 m/s por razones económicas, que se explican a continuación.

Área	Velocity (m/s)
Working faces	4
Conveyor drifts	5
Main haulage routes	6
Smooth lined main airways	8
Hoisting shafts	10
Ventilation shafts	20

**Figura 4.3** *Máximas Velocidades Sugeridas en Labores*  
Fuente: McPherson - capítulo 9

#### 4.1.2.4 Modelamiento Financiero para dimensionamiento de chimeneas

La determinación del tamaño correcto de la chimenea generalmente implica un modelo financiero que calcula el gasto de capital y el gasto de inversión de la chimenea. El diámetro que logra el costo total más bajo se considera la opción óptima. La Tabla 4.2 muestra los parámetros de Opex, que pueden insertarse en la ecuación de energía conocida mostrada por la Ecuación 9. Por lo tanto, el Opex anual es una función importante del diámetro hidráulico de la chimenea y el flujo volumétrico. **Una chimenea más grande reducirá sustancialmente el costo operacional anual, mientras que un aumento en el flujo lo aumentará.**

**Tabla 4.2**  
*Parámetros de Costos Operacional*

<b>L (m)</b>	<b>Largo de Chimenea</b>
$k$ (kg/m <sup>3</sup> )	Factor de fricción Atkinson
$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Densidad del aire promedio
LOM $Q$ (m <sup>3</sup> /s)	Caudal durante LOM
$\eta_{fan}$ (%)	Eficiencia del ventilador
$\eta_{motor}$ (%)	Eficiencia del motor
Horas de operación por día	-
Días de operación	-
Costo de electricidad (\$US/kWh)	-

Fuente: Elaboración Propia

$$\text{Opex} = \frac{53.33 \times \rho \times (k \times L \times Q^3)}{\eta_{fan} \times \eta_{motor} \times \pi^2 \times D^5} \times \text{Días} \times \text{Horas} \times \text{Costo Electricidad} \dots (\$/\text{Año}) \quad \text{Ecuación 9}$$

$$\underbrace{\eta_{fan} \times \eta_{motor} \times \pi^2 \times D^5}$$

Ecuación de energía convertida en Potencia

Los parámetros de gastos de capital para el desarrollo de la chimenea se muestran en la Tabla 4.3. Los costos de configuración, instalación y retiro de servicio generalmente son tarifas únicas. La mina debe proporcionar los costos lineales para el desarrollo de la chimenea para un diámetro dado. La vida útil de la chimenea es importante en el LOM, ya que ayuda a determinar si un ROI es factible o no. Si la mina toma prestado capital de un acreedor, los intereses deben pagarse por encima del principio. Una tasa de interés también debe verse como un factor de contingencia agregado al costo general de la operación de la chimenea.

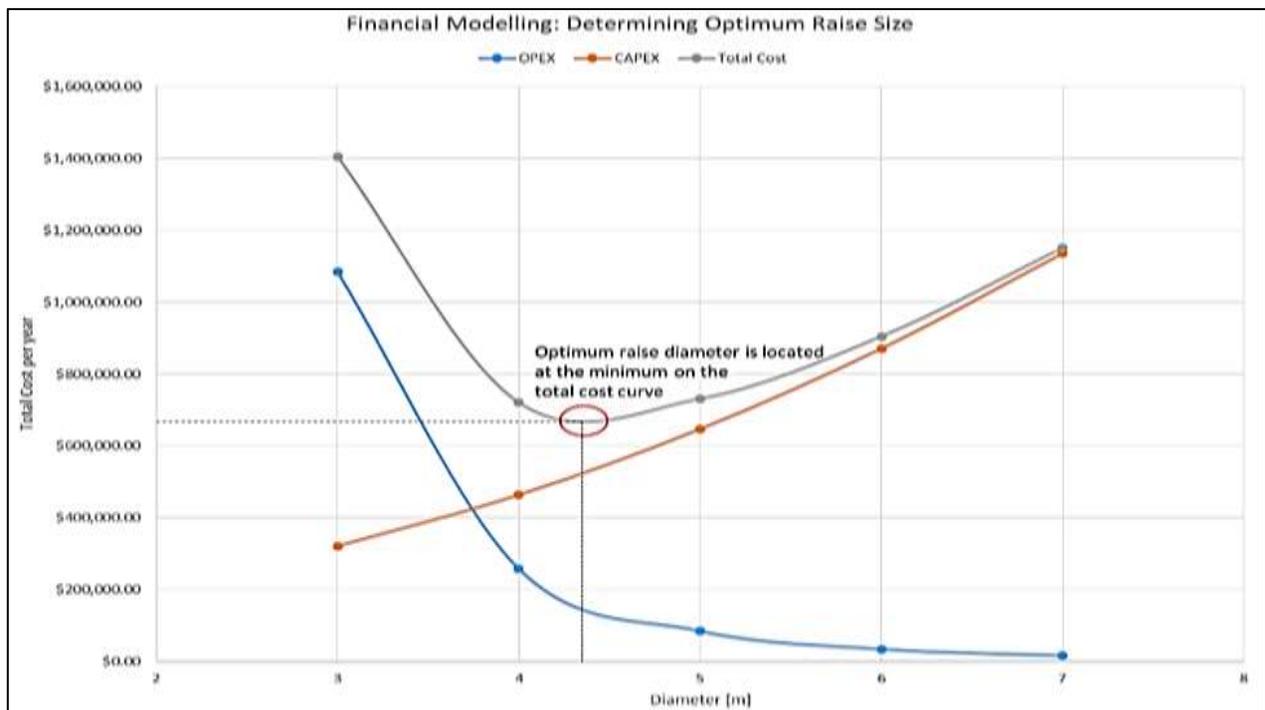
**Tabla 4.3**  
*Parámetros de Costos de Capital*

<b>Parámetro</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Descripción</b>
Costo de instalación y desmantelamiento (\$)	$a$	Costo fijo para instalar equipaje como un Raise Borer.
Costo de desarrollo (\$/m)	$b$	Costo lineal para desarrollar el pique o la chimenea para un dado diámetro.
Vida de pique o de chimenea (años)	$n$	Número de años de servicio esperado por el pique o chimenea.
Tasa de Interés (%)	$i$	Necesario se la mina utilizara capital prestado para financiar el desarrollo del pique o chimenea.

Fuente: Elaboración Propia

La ecuación que calcula el Capex, teniendo en cuenta las tasas de interés, viene dada por la Ecuación 10. Las dos ecuaciones se pueden mostrar junto con su curva de costo total como en la Figura 4.4. El diámetro óptimo se encuentra en el mínimo local en la línea de costo total.

$$Capex = \left[ \frac{a+(b \times L)}{1 - \left(\frac{1}{1+i}\right)^n} \times i \right] \dots [\$/yr] \quad \text{Ecuación 10}$$

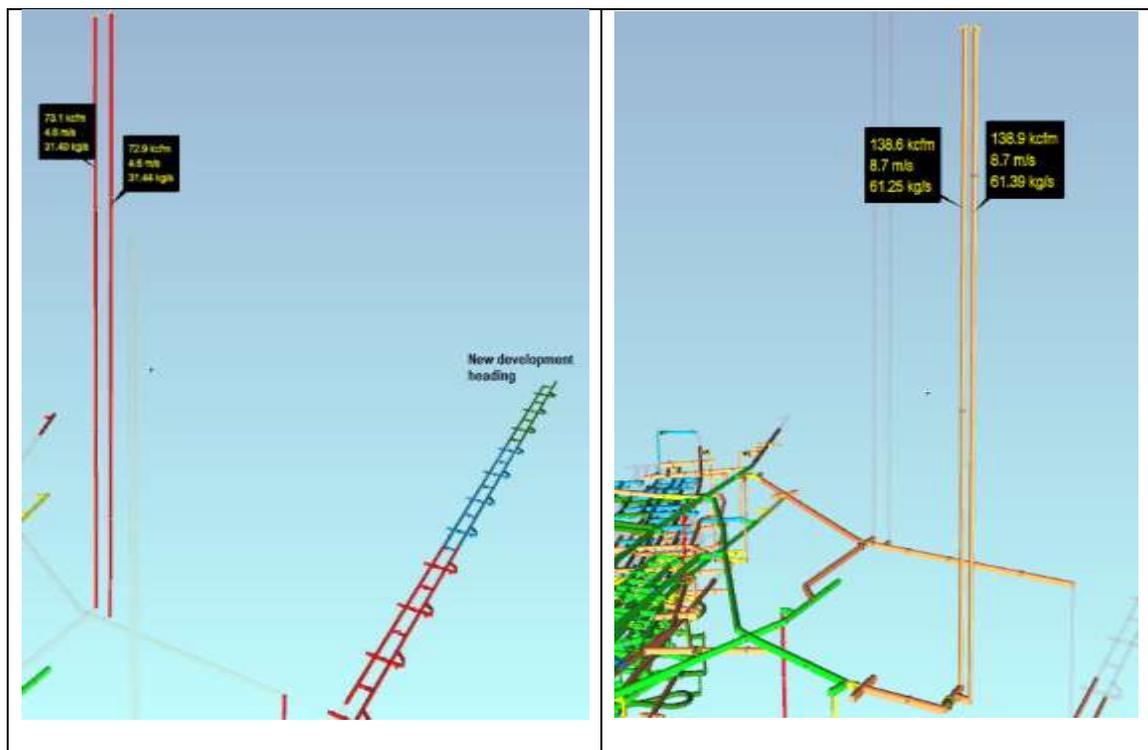


**Figura 4.4** Ejemplo de la Determinación Gráfica del Tamaño de la Chimenea Usando Método Financiero

Fuente Elaboración Propia.

### 4.1.3 Resultados y Discusión

Las chimeneas analizadas en este documento se muestran en la Figura 4. 5. Las chimeneas de admisión son para proporcionar aire fresco a las nuevas frentes de desarrollo que se muestran en el diagrama. De manera similar, las chimeneas de extracción propuestos aseguran que las cantidades de flujo de entrada y salida se mantengan equilibradas. Aunque el modelo indica un sistema de chimeneas doble, el análisis posterior mostrará que una única chimenea conectada a superficie sería más económica.



**Figura 4.5** Ch. Inyección (izquierda) y Ch. Extracción (derecha) Para ser Desarrollada en Unidad Minera

Fuente: Elaboración Propia

- **Chimenea de Inyección**

Las variables de entrada utilizadas para determinar el Opex y el Capex de la chimenea de aire fresco se tabulan en la Tabla 4.4 y la Tabla 4.5, respectivamente. Se asumen algunos valores,

como la tasa de flujo de LOM que es conservadora: Se asumirá que se desarrollan simultáneamente dos frentes (o cortes cruzados). Los parámetros de gasto de capital que se suponen incluyen los costos de instalación y cierre, el costo de desarrollo de la unidad de los diámetros de paso que superan los 3,1 m, y la tasa de interés. Las modificaciones a estas suposiciones pueden crear resultados financieros significativamente diferentes a los que se muestran a continuación.

**Tabla 4.4**

*Parámetros de Entrada Opex de Chimenea de Aire Fresco*

<i>OPEX Parámetros</i>	<b>Valor</b>	<b>Fuente</b>
$L$ (m)	558	Largo desde el modelo
$k$ (kg/m <sup>3</sup> )	0.005	Factor de fricción típico para labor Raise Borer
$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	0.92	Densidad local a 2532 m sobre el nivel del mar
LOM $Q$ (m <sup>3</sup> /min)	3372	Caudal requerido para 2 frentes simultaneas
$\eta_{fan}$ (%)	0.7	Valor desde estudio Vazante (Trade OFF_Lumiadeira II_Rev01.xlsx)
$\eta_{motor}$ (%)	0.95	Valor desde estudio Vazante (Trade OFF_Lumiadeira II_Rev01.xlsx)
Horas de operación por día	24	En la unidad Minera el ventilador operar el día completo
Días de operación	365	En la Unidad Minera los ventiladores operan diariamente
Costo de energía eléctrica (\$US/kWh)	0.06	Información proporcionada por la unidad minera

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 4.5**

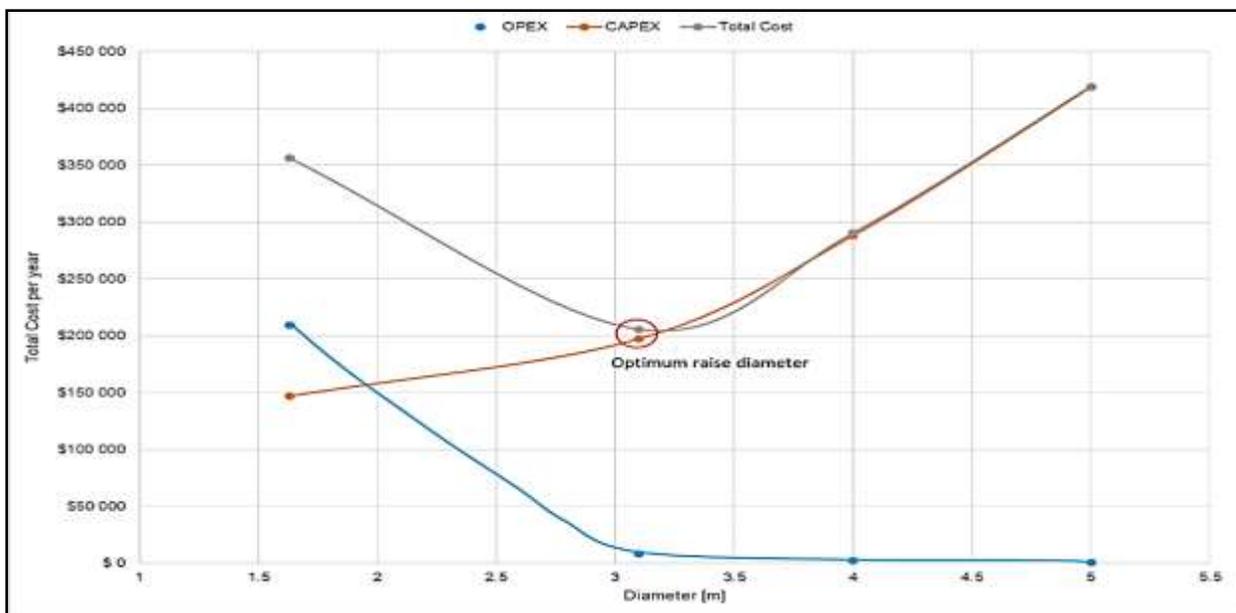
*Parámetros de Entrada de Capex del Aire Fresco en Chimenea*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Justificación</b>
Costo de instalación y desmantelamiento (\$USD)	200,000	Costo asumido como promedio en el mercado
Costo de desarrollo 1.63 m RB (\$USD/m)	800	De la Unidad Minera
Costo de desarrollo 3.1 m RB (\$USD/m)	1,200	De la Unidad Minera
Costo de desarrollo 4 m RB (\$USD/m)	1,920	Extrapolado
Costo de desarrollo 5 m RB (\$USD/m)	2,953	Extrapolado
Vida de pique o chimenea (años)	6	En operación de 2023 a 2030 (y más allá)
Tasa de Interés (%)	10	Asumido

Fuente: Elaboración Propia

El resultado del análisis se muestra en la Figura 4.12. Identifica que el tamaño de la chimenea debe ser de aproximadamente 3.1 m de diámetro, a un costo total anual de \$ 206K USD. Durante un período de 6 años, la chimenea costaría un total de \$ 1.2M USD para operar. La mayor parte del costo total proviene del gasto de capital, lo que significa que desarrollar y excavar una segunda chimenea de subida de aire fresco sería financieramente desventajoso para el caudal dado.

#### Financial Modelling: Optimum Raise Size For New Intake Raise



**Figura 4.6** *Tamaño Óptimo de Chimenea de Inyección*

Fuente: Elaboración Propia

- **Chimenea de Extracción**

Las variables de entrada utilizadas para determinar el costo total de la chimenea de aire de extracción se tabulan en la Tabla 4.6 y la Tabla 4.7, respectivamente. La lista de variables supuestas de Opex y Capex es idéntica a las del estudio de la chimenea de aire fresco.

**Tabla 4.6***Parámetros de Entrada Opex de Chimenea de Extracción*

<b>OPEX Parámetros</b>	<b>Valor</b>	<b>Fuente</b>
$L$ (m)	414	Largo desde el modelo
$k$ (kg/m <sup>3</sup> )	0.005	Factor de fricción típico para labor Raise Borer
$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	0.95	Densidad local a 2532 m sobre el nivel del mar
LOM $Q$ (m <sup>3</sup> /min)	7875	Caudal requerido para 2 frentes simultaneas
$\eta_{fan}$ (%)	0.7	Valor desde estudio Vazante (Trade OFF_Lumiadeira II_Rev01.xlsx)
$\eta_{motor}$ (%)	0.95	Valor desde estudio Vazante (Trade OFF_Lumiadeira II_Rev01.xlsx)
Horas de operación por día	24	En la unidad Minera el ventilador operar el dia completo
Días de operación	365	En la Unidad Minera los ventiladores operan diariamente
Costo de energía eléctrica (\$US/kWh)	0.06	Información proporcionada por la unidad minera

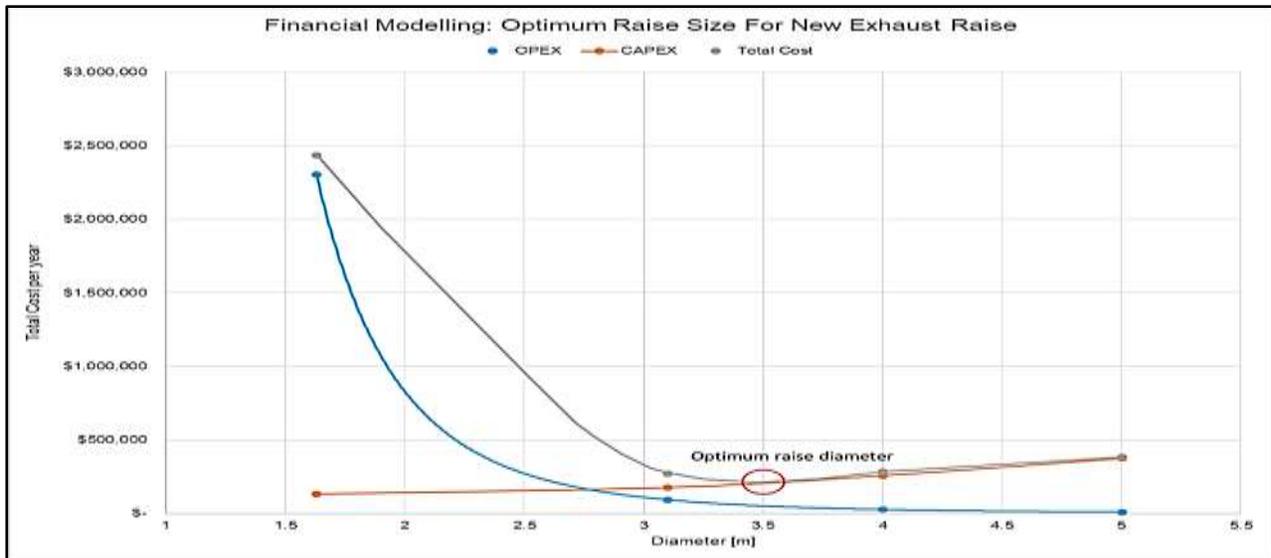
Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 4.7***Parámetros de Entrada de Capex de la Chimenea de Extracción*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Justificación</b>
Costo de instalación y desmantelamiento (\$USD)	200,000	Costo asumido como promedio en el mercado
Costo de desarrollo 1.63 m RB (\$USD/m)	800	De la Unidad Minera
Costo de desarrollo 3.1 m RB (\$USD/m)	1,200	De la Unidad Minera
Costo de desarrollo 4 m RB (\$USD/m)	1,920	Extrapolado
Costo de desarrollo 5 m RB (\$USD/m)	2,953	Extrapolado
Vida de pique o chimenea (años)	7	En operación de 2023 a 2030 (y más allá)
Tasa de Interés (%)	10	Asumido

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados del análisis financiero se representan en la Figura 4.13. Muestra que el diámetro óptimo estaría en algún lugar entre 3,1 m y 4 m. Sin embargo, la diferencia en el costo parece ser marginal. Con un aumento de 3,1 m de diámetro chimenea, el costo total anual esperado para operar esta chimenea se calcula en \$ 270k USD. A lo largo de sus 7 años de vida, esto equivale a una suma de \$ 1.9M USD. Claramente, no tendría sentido financieramente desarrollar una segunda chimenea de extracción para el flujo del modelo dado.



**Figura 4.7** *Tamaño Óptimo de Chimenea de Extracción*

Fuente: Elaboración Propia

## 4.2 Modelamiento del Sistema de Ventilación

El desarrollo del modelamiento es una respuesta preliminar del diseño de ventilación provisto por la Unidad Minera en estudio para los años 2023-2030. Este diseño consta de los siguientes documentos como entradas:

- Coberturas locales por OB de la Unidad Minera.doc
- Unidad Minera Actual 33.vsm
- largo plazo Unidad Minera al 2030.vsm
- Escenario de Prod y Avan por AÑOS.xlsx

Sería necesario revisar esta sección con la gente de ventilación de la Unidad Minera en estudio antes de hacer una compra de ventilador u otra infraestructura. Los temas que se deben discutir a futuro incluyen:

- Confirmar el caudal por cada sector y cada año;
- Revisar la filosofía de ventilación por cada lugar de trabajo;
- Confirmar el trabajo de infraestructura necesario para realizar este diseño;
- Confirmar la presión total y caudal necesario para todos los ventiladores nuevos.

#### **4.2.1 Análisis de la ventilación del LOM**

##### **Procedimiento**

El primer modelo en el software Ventsim (**Unidad Minera\_Actual 33.vsm**) fue verificado y los resultados están escrito en el documento en el Capítulo 4 (4.1.3.2)

La Unidad Minera proporcionó una estimación de la demanda de aire fresco por año:

##### **Escenario de Prod y Avan por AÑOS.xlsx**

Y la Unidad Minera también proporcionó un nuevo modelo Ventsim <sup>TM</sup> que contiene un diseño de ventilación preliminar para varias áreas de la mina desde el año 2023 hasta el 2030: **largo plazo Unidad Minera al 2030.vsm.**

Se revisado el último modelo de Ventsim y en las siguientes secciones se proporcionará una respuesta en forma de diseño sugerido para cada una de las principales áreas de la mina.

##### **Exclusiones**

En la presente Tesis solo proponemos nuevas infraestructuras para nuevas áreas mineras. Se asume por ahora que los ventiladores existentes en la Unidad Minera serán satisfactorios para suministrar aire en las áreas existentes de la mina.

En la presente Tesis No se analizará la infraestructura que se requerirá a corto plazo para implementar la presente infraestructura de ventilación de la unidad Minera. Dicha infraestructura debe discutirse con más detalle en un plan a corto plazo (plan de 6 meses).

El plan de 6 meses deberá de incluir:

- Ubicación de taponos;
- Reubicación de ventiladores;
- Trabajo de construcción y de relleno;
- Trabajo de perforación de nuevas chimeneas;
- Cronograma detallado con estimación de tiempo requerido y movilización de equipos.

### **División de la mina en diferentes OBs**

La unidad minera proporciona la siguiente información en donde muestra la demanda de aire fresco por cada Ore Body:

OB2 → 565 K cfm

OB2B → 512 K cfm

OB6A → 428 K cfm

OB5B → 454 K cfm

Sin embargo, para futuras iteraciones de diseño puede ser útil tener también detalles adicionales por año como se muestra a continuación:

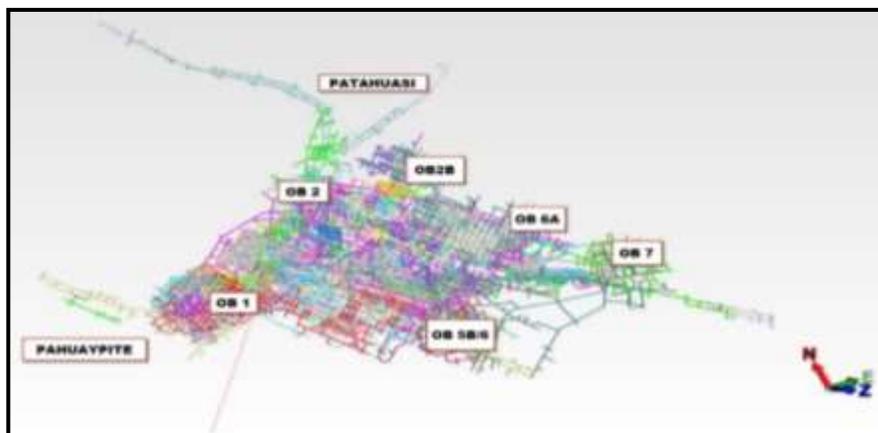
**Tabla 4.8**

*División de la Mina en Diferentes Obras x Año*

<b>Año</b>	<b>OB2</b>	<b>OB2B</b>	<b>OB6A</b>	<b>OB5B</b>
2018	565 kcfm	512 kcfm	428 kcfm	454 kcfm
2019				
2020				
2021				
2022				
2023				
2025				
2026				

Fuente Elaboración Propia

En el modelo actualizado de Ventsim™ proporcionado por la Unidad Minera podemos observar nuevas áreas de minería, que se identifican en la figura 4.8.

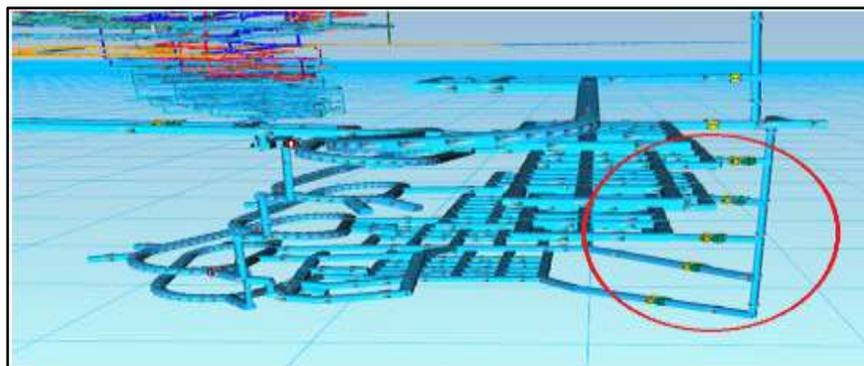


**Figura 4.8** Plan que Muestra Nuevas Áreas en la Unidad Minera

Fuente: Elaboración Propia

### Explicación de diseño de Ventilación SEGÚN EL CASO BASE -5

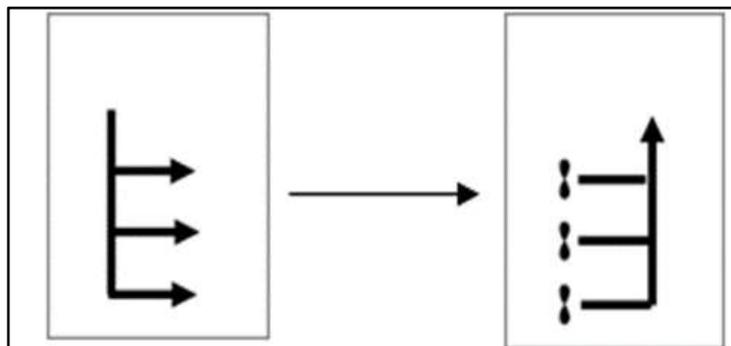
La unidad Minera tiene preparado el modelo “largo Unidad Minera al 2030.vsm” en febrero, conforme ejemplo abajo. En OB2B, es utilizado según lo propuesto, ventiladores secundarios sin primarios (Figura 4.9).



**Figura 4.9** OB2B – Diseño Unidad Minera

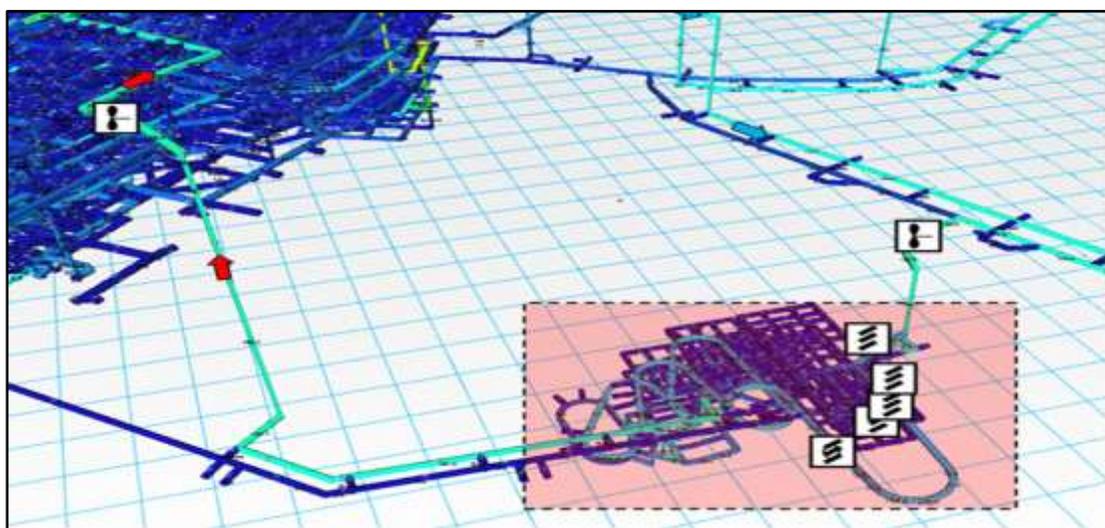
Fuente: Elaboración Propia

En acuerdo a la representación simplificada (Figura 4.10), aire entra libre por los niveles y los ventiladores secundarios extraen los aires de esa Obra.



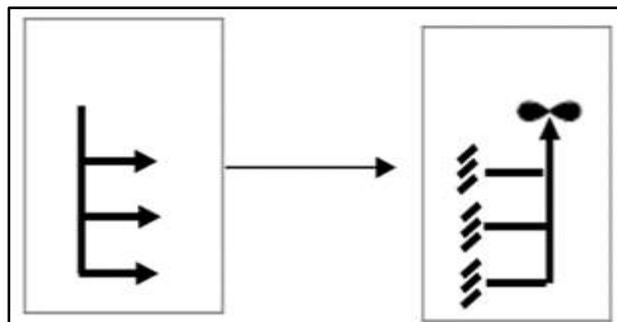
**Figura 4.10** OB2B – *Esquemático de la Unidad Minera*  
Fuente: Elaboración Propia

Con respecto a este caso se propone una configuración diferente para proporcionar la ventilación conforme la demanda para las OBs. Se propone la utilización de reguladores y de un ventilador principal para alcanzar lo mismo caudal (Figura 4.11).



**Figura 4.11** OB2B – *Diseño Propuesto*  
Fuente: Elaboración Propia

En la representación simplificada (Figura 4.12), aire entra libre por los niveles y el ventilador principal extrae el aire para la atmosfera y el aire pasa por los reguladores para el control de cada nivel.



**Figura 4.12** OB2B – Esquema Propuesta

Fuente: Elaboración Propia

La razón de este cambio se debe a que, con el diseño de la Unidad Minera, no sería posible tener un flujo variable en los niveles, ya que los ventiladores secundarios se detendrían si se reduce su velocidad. O sea, al reducir la velocidad de un ventilador secundario y mantener los otros ventiladores secundarios a operar en 100% de su velocidad, el ventilador secundario con velocidad reducida irá operar en región de *stall* y esta operación podrá resultar en daño grave al equipaje.

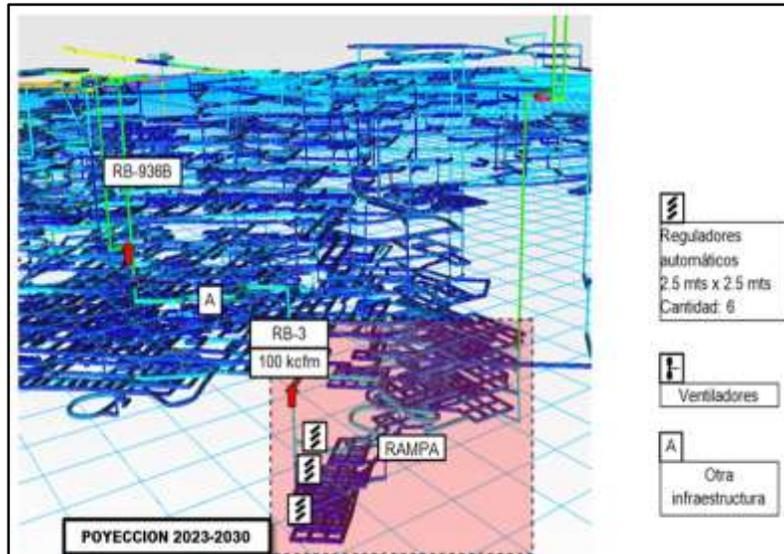
#### 4.2.2 OB 5B Diseño Largo Plazo 2023 – 2030

**Tabla 4.9**

*OB5B – Demanda de Flujo Aproximado del Modelo Ventsim*

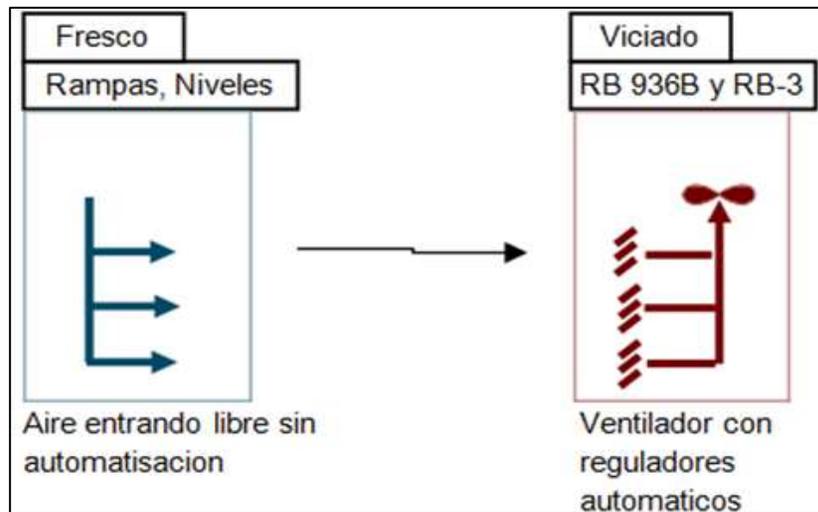
Nivel	OB5B (Sur) kcfm
1	15
2	15
3	46
4	25
	<b>100 kcfm</b>

Fuente: Elaboración Propia



**Figura 4.13** OB5B – *Diseño Propuesto*

Fuente: Elaboración Propia



**Figura 4.14** OB5B – *Esquema Propuesta.*

Fuente: Elaboración Propia

**Filosofía del diseño:**

Capacidad de uso en el RB936B existente para la parte sur del OB6.

Aire libre en la rampa sin necesidad de puertas.

**Tabla 4.10**

*Infraestructuras en OB5B*

<b>Cant.</b>	<b>Nivel</b>	<b>Tipo</b>	<b>Descripción</b>
3	1500-1700	Reguladores automáticos	Regulador automático para ventilador primario
4	1700-1800	Tapón	Instalar tapones o puertas para tirar aire de OB5B hasta la chimenea 936B.

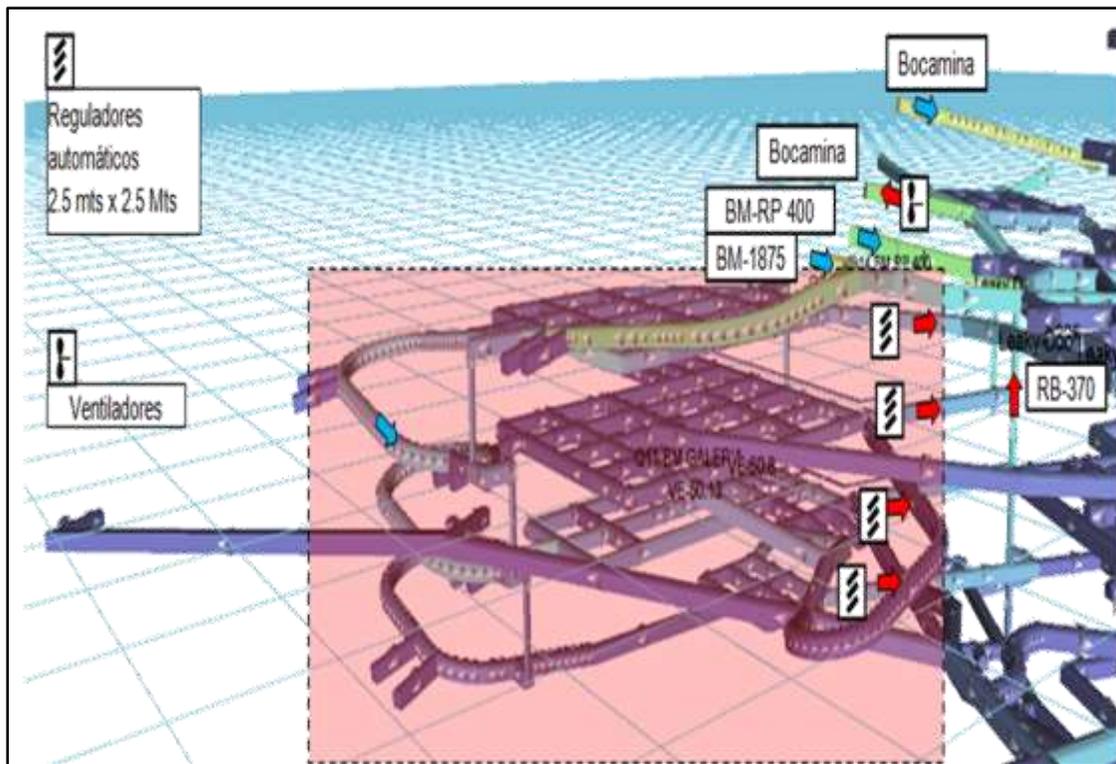
Fuente: Elaboración Propia

**4.2.3 OB 2 Diseño Largo – Plazo 2023 – 2030****Tabla 4.11**

*OB2 – Demanda de Flujo Aproximado del Modelo Ventsim*

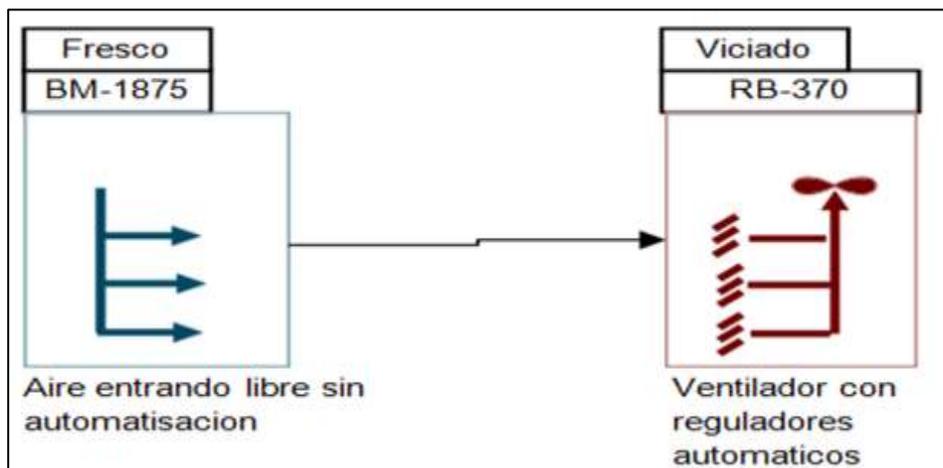
<b>Nivel</b>	<b>Caudal, kcfm</b>
1	57
2	33
3	85
	<b>175 kcfm</b>

Fuente: Elaboración Propia



**Figura 4.15** OB2 – Diseño Propuesto

Fuente: Elaboración Propia



**Figura 4.16** OB2 – Esquema Propuesta

Fuente: Elaboración Propia

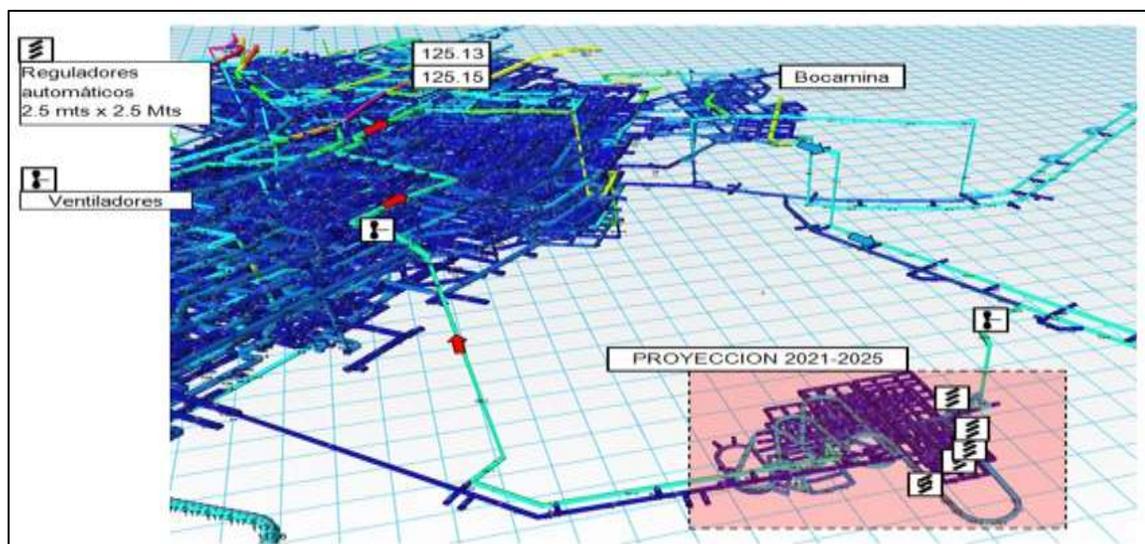
#### 4.2.4 OB 2B Diseño Largo – Plazo 2023 – 2030

**Tabla 4.12**

*OB2B – Demanda de Flujo Aproximado del Modelo Ventsim*

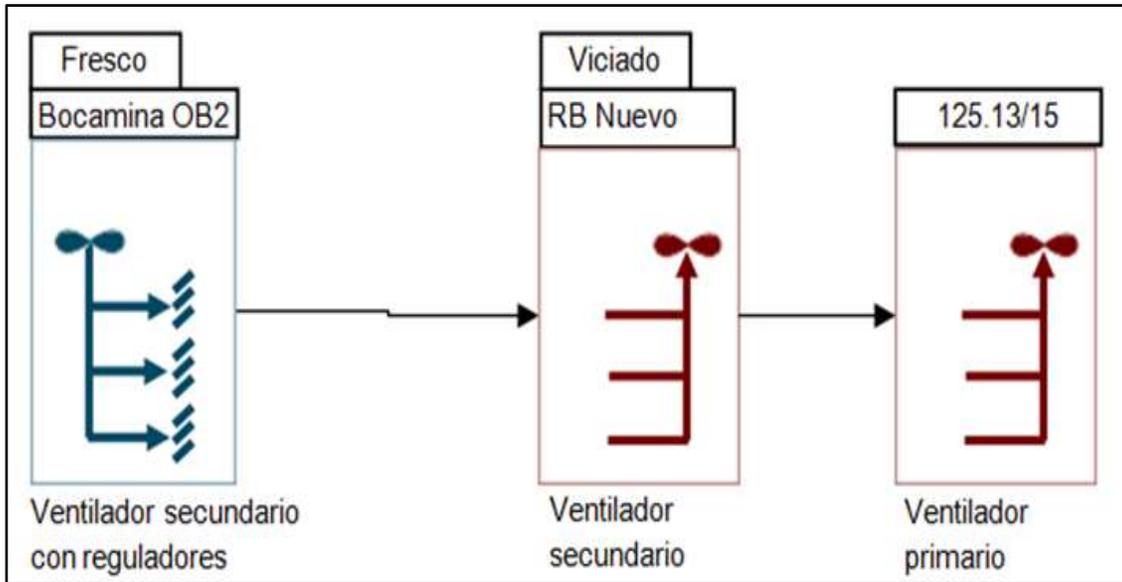
Nivel	Caudal, kcfm
1	30
2	60
3	30
4	30
5	40
6	10
	<b>200 kcfm</b>

Fuente: Elaboración Propia



**Figura 4.17** *OB2B – Diseño Propuesto*

Fuente: Elaboración Propia



**Figura 4.18** OB2 – Esquema Propuesta

Fuente: Elaboración Propia

#### Filosofía del diseño:

- Aire fresco ingresando del pasaje más corto posible (Bocamina en la obra 2).
- 2 ventiladores secundarios (un inyector y un extractor) en esta zona para permitir hermetizar el flujo en la zona en caso de fuego. (sin puerta en la rampa de acceso) Si una puerta es preferida, solo necesitara un ventilador secundario.
- Se sirve de la capacidad de los ventiladores 125.13 y 125.15 para extraer el aire de este sector.

**Tabla 4.13**

*Especificaciones de Ventilador en OB 2B*

	Caudal	Presión Total	Drift dimensión	Temperatura	Densidad aire	# FAN	FAN TYPE
	(kcfm)	(Pa)	(m)	(°C)	(T/m <sup>3</sup> )	(#)	(-)
V5	250	600		32	0.95		
V6	200	500		32	0.95		

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 4.14***Infraestructuras en OB 2B*

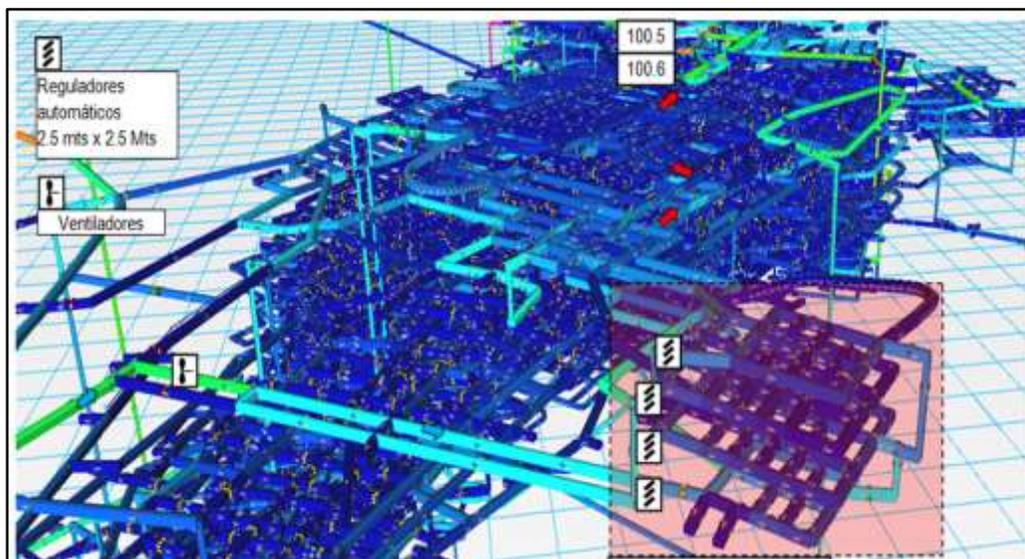
Cant	Nivel	Tipo	Descripción
5	1470-1660	Reguladores automáticos	Regulador automático para ventilador primario

Fuente: Elaboración Propia

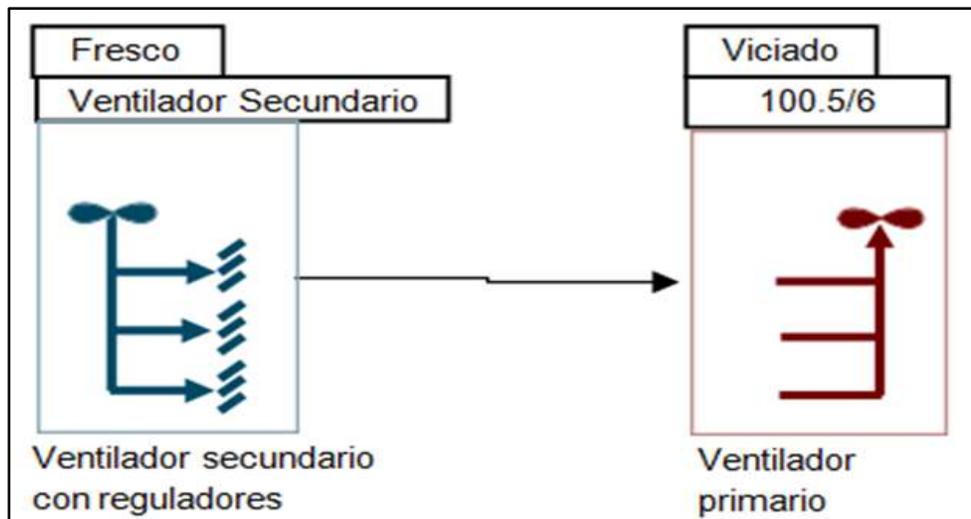
**4.2.5 OB 6A Diseño Largo – Plazo 2023 – 2030****Tabla 4.15***Demanda de Flujo Aproximado del Modelo Ventsim*

Nivel	Caudal, kcfm
1	65
2	55
3	100
4	30
	<b>250 kcfm</b>

Fuente: Elaboración Propia

**Figura 4.19 OB6A – Diseño Propuesto**

Fuente: Elaboración Propia



**Figura 4.20** OB6A – Esquema Propuesta

Fuente: Elaboración Propia

#### Filosofía del diseño:

- Circuito independiente
- Ventilador secundario para garantizar el flujo
- Se sirve de la capacidad de los ventiladores 100.5 y 100.6 para extraer el aire de este sector.

**Tabla 4.16**

*Especificaciones de Ventilador en OB 6A*

	Caudal	Presión Total	Drift dimensión	Temperatura	Densidad aire	# FAN	FAN TYPE
	(kcfm)	(Pa)	(m)	(°C)	(T/m <sup>3</sup> )	(#)	(-)
V7	250	1000		32	0.95		

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 4.17***Infraestructura OB 6 A*

Cant	Nivel	Tipo	Descripción
4	1970-2030	Reguladores automáticos	Regulador automático para ventilador primario

Fuente: Elaboración Propia

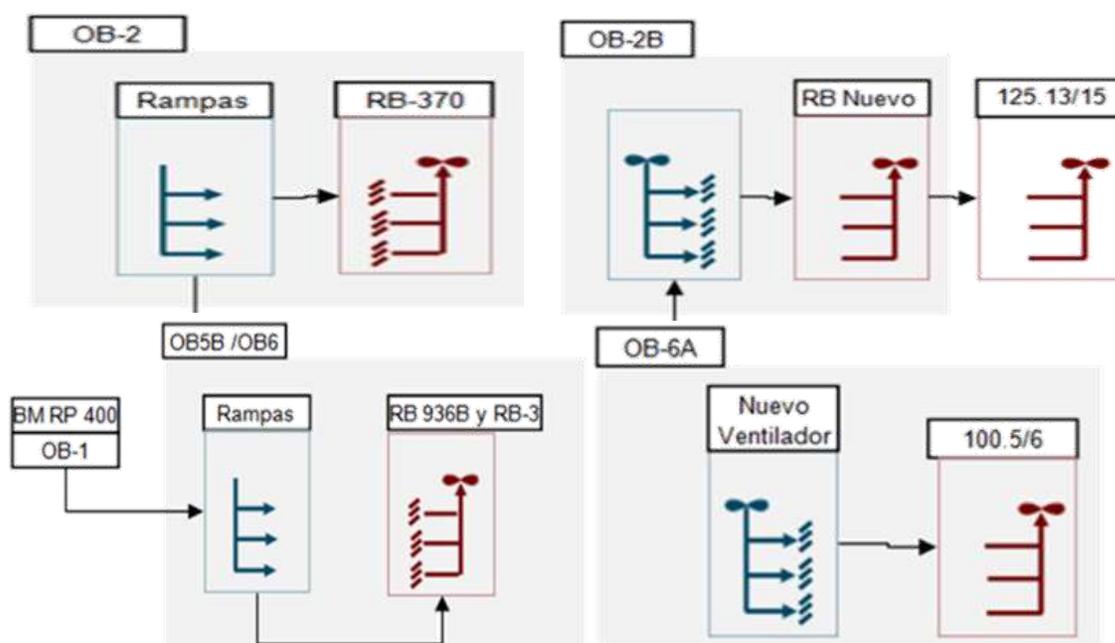
**4.2.6 Resumen de Infraestructura****Tabla 4.18***Reguladores Automáticos*

	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	ID	Obra
Regulador Automático				1					AR10	OB5B
Regulador Automático					1				AR11	OB5B
Regulador Automático						1			AR12	OB5B
Regulador Automático			1						AR13	OB2
Regulador Automático			1						AR14	OB2
Regulador Automático			1						AR15	OB2
Regulador Automático				1					AR16	OB2
Regulador Automático			1						AR17	OB2B
Regulador Automático			1						AR18	OB2B
Regulador Automático			1						AR19	OB2B
Regulador Automático				1					AR20	OB2B
Regulador Automático					1				AR21	OB2B

	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	ID	Obra
Regulador Automático			1						AR22	OB6A
Regulador Automático			1						AR23	OB6A
Regulador Automático			1						AR24	OB6A
Regulador Automático				1					AR25	OB6A
Regulador Automático	0	0	9	4	2	1	0	0		

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.2.7 Diagrama Esquemático de los Sectores del Estudio



**Figura 4.21** Esquema de los Sectores del Estudio

Fuente: Elaboración Propia

### 4.3 Lista de Ventiladores

#### 4.3.1 Introducción

Esta sección contiene un análisis de los ventiladores primarios y secundarios de la operación de la Unidad Minera. La capacidad de los ventiladores existentes se analiza utilizando el modelo Ventsim para los años 2023 y 2030 para determinar si los ventiladores existentes funcionarán adecuadamente en una etapa posterior con cambios en la mina.

El sistema de ventilación propuesto para años posteriores se describe en la sección 4.1.4. Los ventiladores propuestos en la sección citada se enumeran aquí para comentarios adicionales e información de especificación.

#### 4.3.2 Lista de Ventiladores

##### Ventiladores Existentes

Los ventiladores existentes se resumen en la Tabla 4.19 en un formato recomendado para discusiones con los fabricantes de ventiladores. La información que falta en el momento de esta escritura es destacada en amarillo. Cabe de señalar que el modelo Ventsim presenta 18 ventiladores principales instalados y en operación en la Unidad Minera. Tabla 4.18 presenta los ventiladores disponibles para ser instalados como principales.

**Tabla 4.19**

*Lista de Ventiladores Existentes de la Unidad Minera*

Ventilador N° Serie	Marca Ventilador	Modelo	RPM	Potencia motor (kW, hp)	Tipo arrancador
100.4	Airtec	VAV-48.26.5-1750-1-B	1,750	150 hp	
100.5	Airtec	VAV-54.26.5-1750-1-B	1,785	200 hp	Soft-start
100.6	Airtec	VAV-54.26.5-1750-1-B	1,785	200 hp	Soft-start
100.7	Airtec	VAV-54.26.5-1750-1-B	1,750	200 hp	Soft-start
125.1	Howden	VAV-54-30-1750	1,750	250 hp	Soft-start
125.2	Howden	VAV-54-30-1750	1,785	250 hp	
125.3	Howden	VAV-54-30-1750	1,785	250 hp	Variador

Ventilador N° Serie	Marca Ventilador	Modelo	RPM	Potencia motor (kW, hp)	Tipo arrancador
125.4	Howden	VAV-54-30-1750	1,785	250 hp	Soft-start
125.1	Howden	VAV-54-30-1750	1,785	250 hp	
125.8	Airtec	VAV-60-30-1750-1-B	1,785	250 hp	Soft-start
125.7	Airtec	VAV-60-30-1750-I-A	1,785	250 hp	
125.9	Airtec	VAV-60-30-1750-I-A	1,785	250 hp	Soft-start
125.6	Airtec	VAV-60-80-1750-1-80	1,750	250 hp	Soft-start
125.11	Zitron	ZVNI-14-185/4	1,750	250 hp	Soft-start
125.13	Zitron	ZVNI-14-185/4	1,750	250 hp	Soft-start
125.14	Zitron	ZVNI-14-185/4	1,750	250 hp	Soft-start
125.15	Zitron	ZVNI-14-185/4	1,750	250 hp	Soft-start
125.10'	Zitron	ZVNI-14-185/4	1,750	250 hp	
125.12	Zitron	ZVNI-14-185/4	1,750	250 hp	Soft-start
100.8	Howden				Soft-start
100.4 pareja					
125.7 pareja					Soft-start

Fuente: Elaboración Propia

### Nuevos Ventiladores

Los ventiladores propuestos se resumen en la Tabla 4.20, a partir de la información discutida en la sección 4.2. Se observa que estas especificaciones son preliminares y se recomienda ser discutidas en detalle con el equipo de ventilación de la Unidad Minera antes de realizar el proceso de compra de los ventiladores.

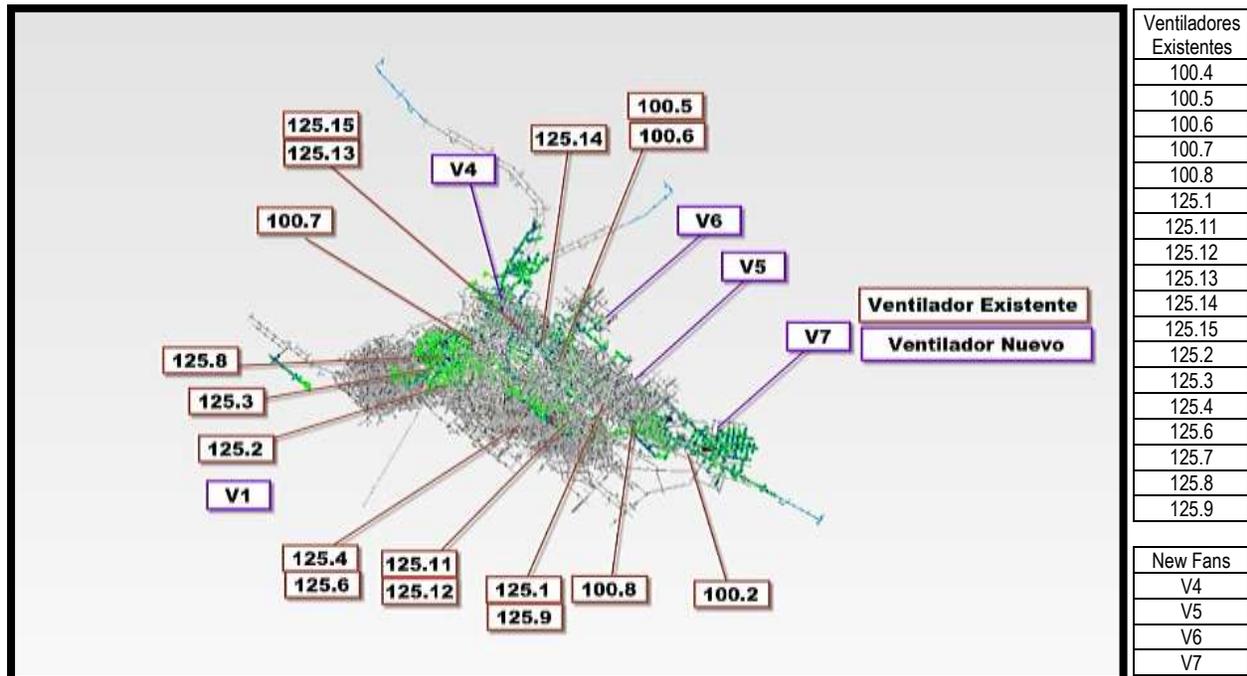
**Tabla 4.20**

*Lista de Ventiladores a ser Adquiridos de la Unidad Minera*

Ventilador N° Serie	Modelo	RPM	Potencia motor (kW, hp)	Ubicación (nombre de veta)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Presión (in WG)	Caudal (kcfm)	Presión máxima (in WG)
V4	AFN SO 52 1200 2157	1185	300HP	OB2	0.95	600	300	660
V5	AFN SO 52 1200 2157	1185	250HP	OB2B	0.95	600	250	660
V6	AFN SO 52 1200 2157	1185	200HP	OB2B	0.95	500	250	550
V7	AFN SO 52 1200 2157	1185	300HP	OB6A	0.95	1000	250	1100

Fuente: Elaboración Propia

### 4.3.3 Ubicación de Ventiladores



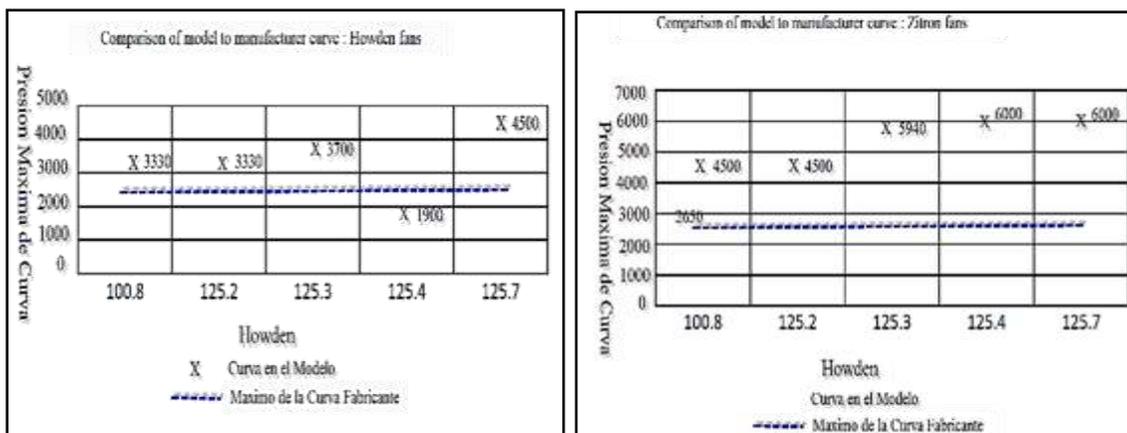
**Figura 4.22** Presenta la Ubicación de los Ventiladores Analizados en la Sección anterior

Fuente: Elaboración Propia

### 4.3.4 Discusión sobre el Procedimiento de Modelado de Ventiladores

#### Curvas No estandarizadas

Analizando se observa que los ventiladores en el modelo no tienen curvas estándar del fabricante, ya que el procedimiento en la Unidad Minera es modificar estas curvas para que el modelo de Ventsim tenga el mismo flujo que se mide en el campo. Sin embargo, esto no es una buena práctica, ya que dará como resultado que cada ventilador tenga una curva diferente, lo que en algunos casos ni siquiera es físicamente posible. La observación se resume en la figura 4.23 y 4.24 adicionalmente se recomienda una mejor práctica para la simulación de ventiladores en las próximas secciones.

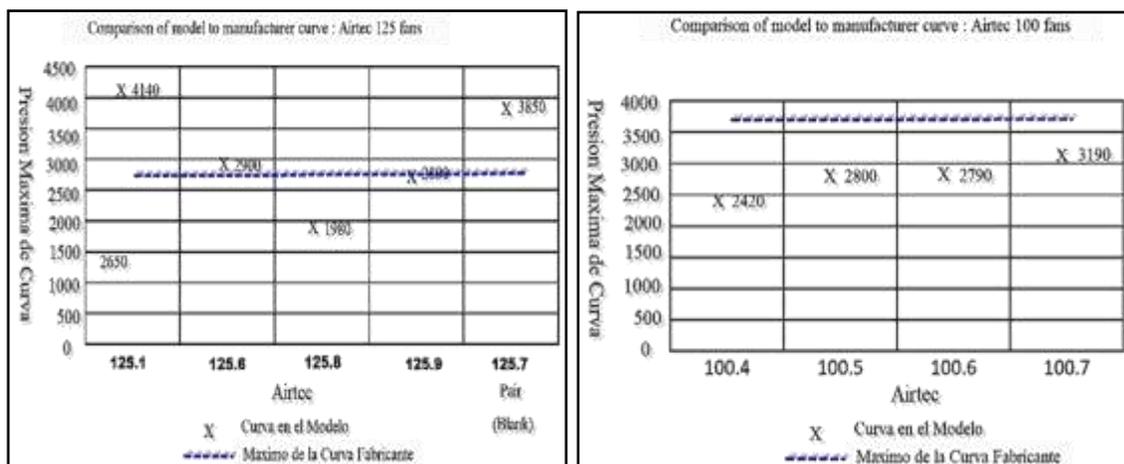


**Figura 4.23** Comparativo de Ventilador Howden y Zitron

Fuente: Elaboración Propia

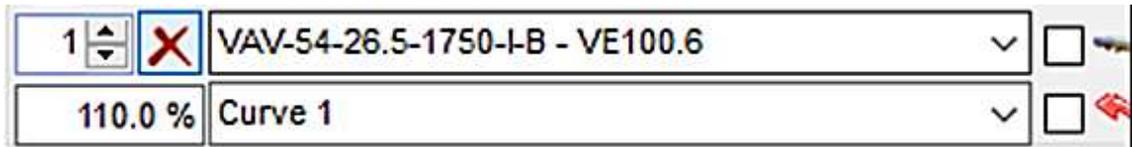
### Rotación

Caso la rotación del ventilador esté arriba de 100% en el modelo Ventsim, eso significa que el modelo no está bien calibrado.



**Figura 4.24** Comparativo de Ventilador Airtec

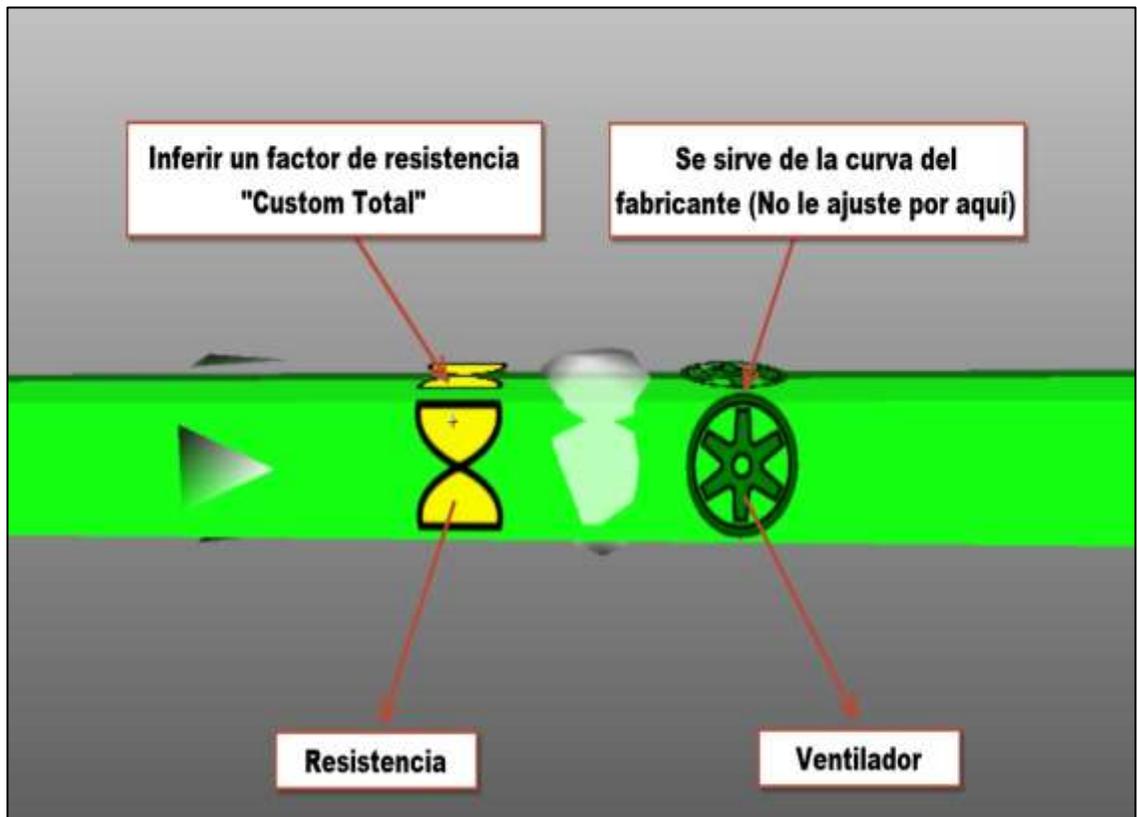
Fuente: Elaboración Propia



**Figura 4.25** Ejemplo de Práctica no Recomendada en el Modelo de Unidad  
Fuente: Elaboración Propia

### Practica de mejora para ajuste de curvas en el Modelo Ventsim

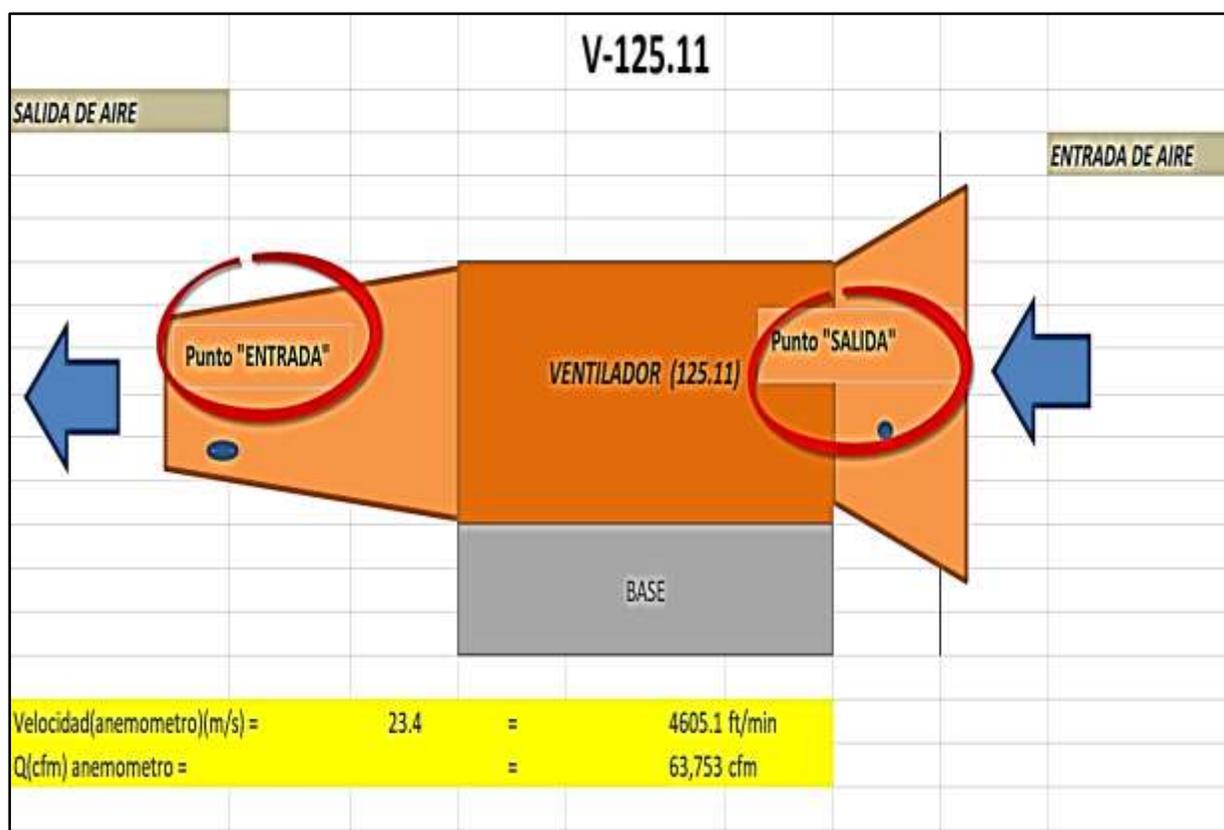
Recomienda-se imponer una resistencia adicional al revés de ajustar la curva del ventilador.



**Figura 4.26** Practica de Mejora Para Ajuste de la Curva  
Fuente: Elaboración Propia

### Recopilación de datos adecuada

En Figura 4.27, del documento [presiones en ventiladores.xls](#) (informado por la Unidad Minera), muestra dónde deben ser tomados cuidados para medir y registrar adecuadamente los puntos de datos para las mediciones de los ventiladores. En este ejemplo, el punto marcado como "salida" es en realidad la "entrada". Esta distinción es muy importante al medir la presión diferencial con un manómetro.

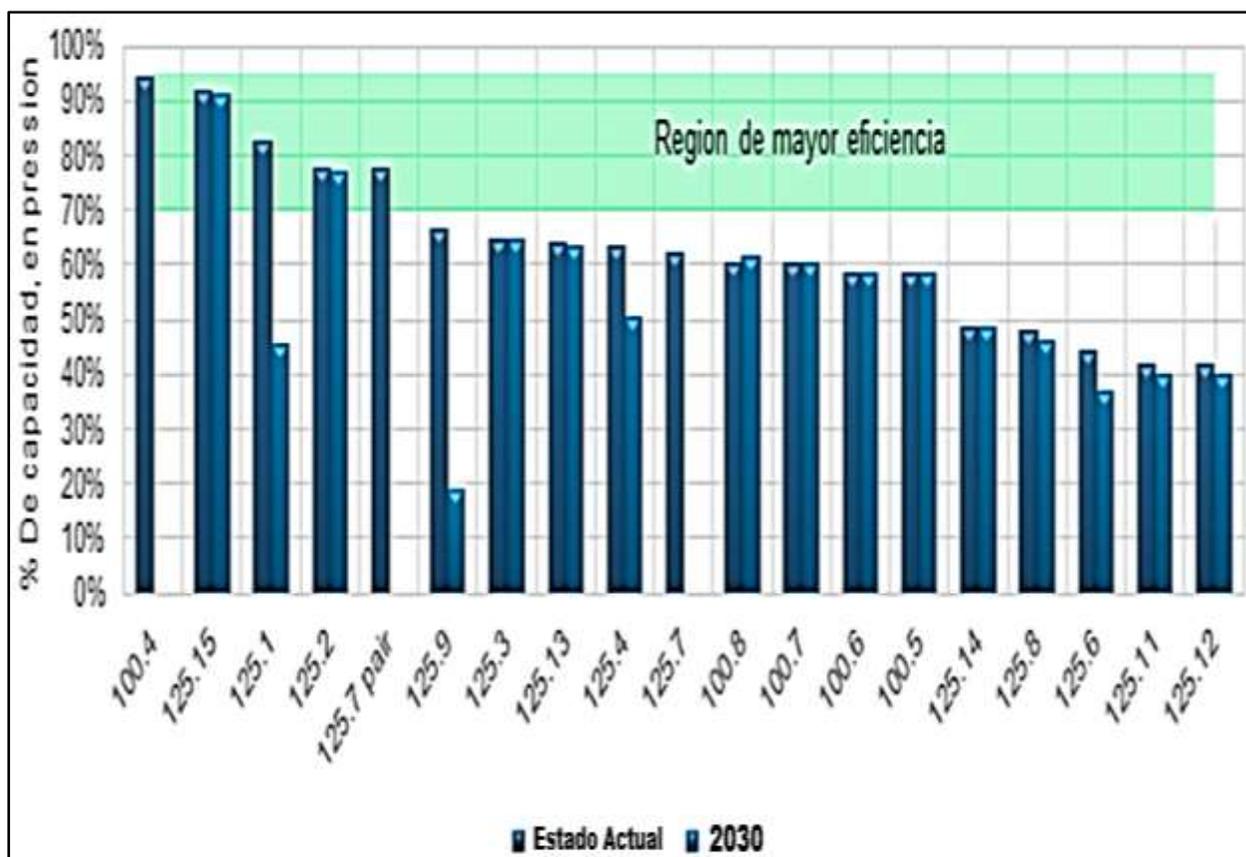


**Figura 4.27** Imagen de Ventilador y Puntos de Tomas de Presiones de Ventiladores

Fuente: Informe mensual de Unidad Minera

### 4.3.5 Análisis de la Capacidad del Ventilador

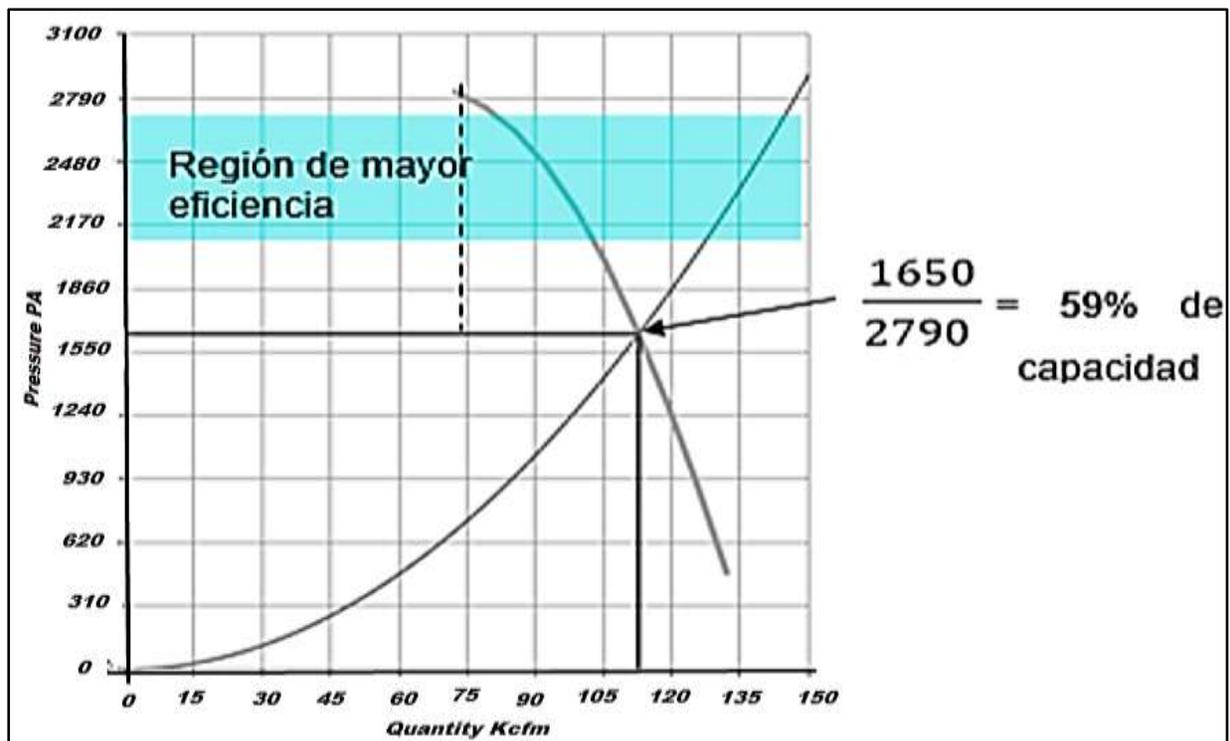
Para realizar el análisis de la capacidad de los ventiladores se deberá de efectuar una verificación de las presiones de los ventiladores en el modelo Ventsim para el año 2023 y el año 2030 para garantizar que no hubiera problemas derivados de los ventiladores existentes debido a la adición de nuevos ventiladores a la mina. A continuación, se presenta un resumen de los resultados, mostrando que las presiones para los ventiladores existentes permanecen por debajo de la presión actual, por lo que no esperamos problemas con la paralización (Ver figura 4.28).



**Figura 4.28** Análisis de Presión de Ventiladores en los Años 2023 y 2030, Adicionando Nuevos Ventiladores

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se muestra la capacidad del ventilador en términos de presión ilustrada en la figura 4.29.



**Figura 4.29** Ejemplo de Capacidad del Ventilador en Términos de Presión

Fuente: Elaboración Propia

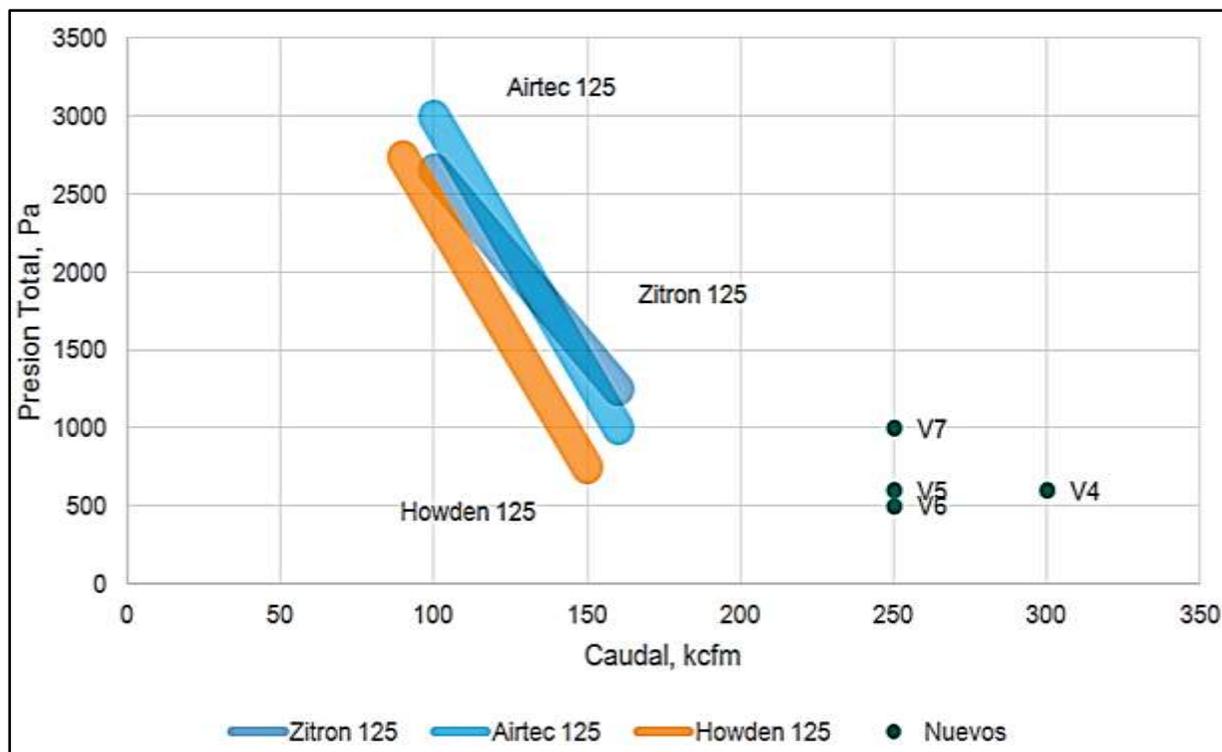
#### 4.3.6 Análisis de la Padronización del Ventilador

En la figura 4.30 se ilustra la capacidad de los ventiladores exigidos en comparación con la capacidad de los ventiladores estándar existentes de Zitron, Airtec y Howden en el lugar.

Es evidente que los ventiladores que se proponen para las nuevas áreas de la mina son de una franja operativa completamente diferente.

Puede ser posible seleccionar un modelo de ventilador que sea capaz de atender a varios puntos de operación, de modo que sólo un modelo de ventilador sea necesario, como se muestra

en la Figura 4.30. Esto puede resultar en ahorro durante la compra y el mantenimiento de los ventiladores.



**Figura 4.30** Intervalo de Operación Requerida Para los Ventiladores  
Fuente: Elaboración Propia

## 4.4 Consumo de Energía - LOM

### 4.4.1 Introducción

Este documento contiene un análisis del consumo de energía año a año, incluyendo lo siguiente:

- División en las 05 principales áreas de automatización de la ventilación;
- Análisis para los años 2023-2030.

#### 4.4.2 Consumo de Energía para el Caso-Base

La información de la Tabla 4.21 se definió en el documento MEMORIAL DESCRIPTIVO DE CONTROL Y FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA.

Se supone que la Potencia Real, utilizada en los cálculos, es 95% de la Potencia Nominal, de simulación Ventsim. Ese supuesto es debido a que el punto de operación varía de un momento a otro y, por lo tanto, no se conoce con precisión. Por lo que asumimos que está operando en un punto de la curva del ventilador donde consumirá solo el 95% de la potencia nominal.

**Tabla 4.21**

*Potencia Nominal x Potencia Real de los Ventiladores*

Caso		Potencia nominal kW	Potencia real kW
1	Ventiladores primarios existentes	3,163	3,005
2	Ventiladores auxiliares para desarrollo	2,786	2,647
3	Ventiladores auxiliares para producción	848	806
4	Ventiladores auxiliares para otros áreas	2,058	1,852
5	Nuevos Ventiladores primarios	689	620
	V4	191	181
	V5	144	137
	V6	133	126
	V7	185	176

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.4.3 Ajuste de acuerdo con el Plan de Mina

La siguiente información se estimó a partir del modelo Ventsim proporcionado por la Unidad Minera. Para las nuevas áreas en proyección, según el plan de mina los nuevos ventiladores no funcionarán a toda velocidad al inicio. Por lo tanto, los kW se ajustan para los primeros años. (Ver Tabla 4.22).

**Tabla 4.22***Potencia Nominal x Potencia Real de los ventiladores*

Caso		2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
1	Ventiladores primarios existentes	-	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
2	Ventiladores auxiliares para desarrollo	-	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
3	Ventiladores auxiliares para producción	-	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
4	Ventiladores auxiliares para otras áreas	-	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
5	Nuevos Ventiladores primarios								
	V4	-	50%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	V5	-			33%	66%	100%	100%	100%
	V6	-			33%	66%	100%	100%	100%
	V7	-		100%	100%	100%	100%	100%	100%

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 4.23***Estimación de Consumo (KW) de los Ventiladores al Año-Caso-Base*

Caso		2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
1	Ventiladores primarios existentes	-	3005	3005	3005	3005	3005	3005	3005
2	Ventiladores auxiliares para desarrollo	-	2647	2647	2647	2647	2647	2647	2647
3	Ventiladores auxiliares para producción	-	806	806	806	806	806	806	806
4	Ventiladores auxiliares para otros áreas	-	1852	1852	1852	1852	1852	1852	1852
5	Nuevos Ventiladores primarios		91	357	444	531	620	620	620
	V4	-	91	181	181	181	181	181	181
	V5	-			45	90	137	137	137
	V6	-			42	83	126	126	126
	V7	-		176	176	176	176	176	176

Fuente: Elaboración Propia

**4.4.4 Estimación de consumo y de Costo**

La Tabla 4.24, la Tabla 4.25 y la Tabla 4.26 listan el consumo de energía estimado para los ventiladores en la Unidad Minera siguiente información se estimó a partir del modelo Ventsim proporcionado por la Unidad Minera. Para las nuevas áreas, se supone que los nuevos ventiladores no funcionarán a toda velocidad al inicio. Por lo tanto, los kW se ajustan para los primeros años.

**Tabla 4.24***Estimación de Energía Consumida (KWh) de los Ventiladores al Año-Caso-Base*

Caso		2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
1	Ventiladores primarios existentes	-	26,323,800	26,323,800	26,323,800	26,323,800	26,323,800	26,323,800	26,323,800
2	Ventiladores auxiliares para desarrollo	-	23,187,720	23,187,720	23,187,720	23,187,720	23,187,720	23,187,720	23,187,720
3	Ventiladores auxiliares para producción	-	7,060,560	7,060,560	7,060,560	7,060,560	7,060,560	7,060,560	7,060,560
4	Ventiladores auxiliares para otros áreas	-	16,223,520	16,223,520	16,223,520	16,223,520	16,223,520	16,223,520	16,223,520
5	Nuevos Ventiladores primarios		794,751	3,129,072	3,889,786	4,650,500	5,434,266	5,434,266	5,434,266
	V4	-	794,751	1,589,502	1,589,502	1,589,502	1,589,502	1,589,502	1,589,502
	V5	-			395,461	790,923	1,198,368	1,198,368	1,198,368
	V6	-			365,253	730,505	1,106,826	1,106,826	1,106,826
	V7	-		1,539,570	1,539,570	1,539,570	1,539,570	1,539,570	1,539,570

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 4.25***Precio de la energía eléctrica para la Unidad Minera*

Caso	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
\$US/kWh	0.05952	0.06088	0.06228	0.06372	0.06436	0.06500	0.06500	0.06500	0.06500

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 4.26***Estimación del Costo de Energía Consumida (BRL) de los Ventiladores al Año-Caso-Base*

Caso		2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
	<b>TOTAL</b>		<b>\$4.580.000</b>	<b>\$4.840.000</b>	<b>\$4.920.000</b>	<b>\$5.030.000</b>	<b>\$5.080.000</b>	<b>\$5.080.000</b>	<b>\$5.080.000</b>
1	Ventiladores primarios existentes	-	\$1.640.000	\$1.680.000	\$1.690.000	\$1.710.000	\$1.710.000	\$1.710.000	\$1.710.000
2	Ventiladores auxiliares para desarrollo	-	\$1.440.000	\$1.480.000	\$1.490.000	\$1.510.000	\$1.510.000	\$1.510.000	\$1.510.000
3	Ventiladores auxiliares para producción	-	\$440.000	\$450.000	\$450.000	\$460.000	\$460.000	\$460.000	\$460.000
4	Ventiladores auxiliares para otros áreas	-	\$1.010.000	\$1.030.000	\$1.040.000	\$1.050.000	\$1.050.000	\$1.050.000	\$1.050.000
5	Nuevos Ventiladores primarios		\$50.000	\$200.000	\$250.000	\$300.000	\$350.000	\$350.000	\$350.000
	V4	-	\$50.000	\$100.000	\$100.000	\$100.000	\$100.000	\$100.000	\$100.000
	V5	-			\$30.000	\$50.000	\$80.000	\$80.000	\$80.000
	V6	-			\$20.000	\$50.000	\$70.000	\$70.000	\$70.000
	V7	-		\$100.000	\$100.000	\$100.000	\$100.000	\$100.000	\$100.000

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 4.31 se muestra gráficamente la evolución de la energía para los próximos años desde el 2023 al 2030. (Ver Anexo 5)



**Figura 4.31** Cuadro de Estimación de Energía Consumida

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.5 Simulación y Buenas Prácticas para Caso de Incendios

Uno de los controles prioritarios en ventilación es el sistema de ventilación contra incendios, debido a que los incendios en minas subterráneas son eventos complejos con un comportamiento difícil de predecir, lo que los convierte en uno de los peligros más temidos. Desde un punto de vista de probabilidad, es un evento muy POCO PROBABLE; sin embargo, por el lado de la severidad, puede llegar a ser CATASTRÓFICO pudiendo llegar a generar la pérdida del 100% de la vida de los trabajadores y cuantiosas pérdidas en bienes. La aparición de un incendio en una mina subterránea es un suceso complicado, ya que durante la combustión se producen gases peligrosos para las personas, temperaturas elevadas y la presencia de humo que reduce la visibilidad en los pasajes subterráneos. Para ello se tendrá que identificar las fuentes de incendio, los equipos de alta combustión existente en la mina, las condiciones de la roca el cual juega un

papel muy importante para el complejo comportamiento del aire y los gases producto del incendio. Con este input se podrá realizar la simulación con un software de ventilación el cual nos identificará las rutas de escape de la misma manera la cartilla de evacuación dependiendo de la ubicación del foco de incendio.

Se realizará la simulación de incendios en el modelo proporcionado por la Unidad Minera en donde se detallará los siguientes puntos:

- Simular tres escenarios de incendio en Nv 1740 OB2, Nv 1650 OB6 y Nv 1600 OB1;
- Recomendar rutas de escape y preparación de planes de escape para las tres simulaciones de incendios;
- Mostrar la fuente del incendio, la ubicación y la duración de cada una de las tres simulaciones de incendios.

Tomar en cuenta que las simulaciones de incendio solo son precisas si la red de ventilación sigue siendo la misma que la del archivo Ventsim Design largo plazo Unidad Minera al 2030.vsm – Stage 1. Si la red es diferente de alguna manera, las simulaciones pueden resultar en resultados malos o falsos para las rutas de escape.

#### **4.5.1 Sumario Ejecutivo**

La siguiente lista resume la información en esta sección:

- a) Esta simulación será de un volquete de 50 toneladas (FMX 520) que se incendiará, con las siguientes características:
  - Tipo de fuego (combustible disponible);
  - Cantidad de combustible;
  - Tiempo de fuego;
  - La velocidad de combustión del fuego;

- b) Cada simulación fue ejecutada en un respectivo nivel, a saber, Nv 1740, Nv 1650 y Nv 1600, y contendrá tres etapas y duración de 7 horas:
- Inicio del incendio – etapa de crecimiento (0.5 hora);
  - Pico de incendio (2.5 horas);
  - Fin del incendio – Etapa de decaimiento (4 horas);
- c) Rutas de escape son presentadas para cada simulación:
- Rutas de escape de 1740 se muestran desde Nv 1740, Nv 1640 y Nv 1940;
  - Rutas de escape de 1650 se muestran desde Nv 1650, Nv 1850 y Nv 1710;
  - Rutas de escape de 1600 se muestran desde Nv 1600, Nv 1650, Nv 1710 y Nv 1910;

Los planes de escape son muy importantes para ayudar a mantener a las personas seguras durante una emergencia. Para poder mejorar los planes de escape en la Unidad Minera se requiere:

- ✓ Los planos de ventilación deben actualizarse cada seis meses o cuando haya un cambio en la red de flujo de aire. Esto es importante en el caso de que un trabajador resulte lesionado y el personal de rescate deba sacar a la persona de la mina de forma rápida y segura.
- ✓ Se debe establecer un programa de gestión de ventilación de la mina para garantizar que los planes de escape y los planos de emergencia de la mina se mantengan adecuadamente y que la salud y la seguridad del trabajador sean prioritarias.
- ✓ La Unidad Minera debe continuar revisando su planificación general de ventilación, programas de mantenimiento para ventiladores, verificación de gas y procedimientos de corte de energía. Además de un programa para reportar problemas de ventilación,

prevención de acceso a frentes sin flujo de aire, programa de estrés por calor y regimiento de descanso en el trabajo.

- ✓ Se puede incorporar un comité conjunto de salud y seguridad para permitir la colaboración entre diferentes departamentos y asegurarse de que todos puedan trabajar en seguridad.

#### 4.5.2 Características de Incendio

Las simulaciones de incendio dependen de las siguientes características:

- Tipo de incendio (combustible disponible);
- Cantidad de combustible;
- Tiempo de fuego;
- Velocidad de combustión del fuego.

La simulación será de un volquete de 50 toneladas (FMX 520) que se incendiará. La figura 4.32 muestra un resumen de la cantidad de combustible, incluida la masa, el porcentaje de masa y el supuesto asociado con el tipo de combustible.

**Tabla 4.27**

*Sumario de Combustible de fuego*

Combustible de Fuego	Masa (kg)	Porcentaje Masa	Asunción
Neumáticos	2000	51%	10 neumáticos con banda de rodadura desgastada
Combustible Diesel	337	9%	Depósito de combustible lleno
Aceite del Motor	29	1%	Aceite del motor lleno
Aceite Hidráulico	249	6%	Aceite hidráulico lleno
Aceite del Freno	104	3%	Aceite de freno lleno
Otros Materiales Combustibles	1237	31%	5% de masa de volquete
<b>Total</b>	<b>3956</b>	<b>100%</b>	-

Fuente: Elaboración Propia

El tiempo de incendio y las tasas de combustión se muestran a continuación en la Tabla 4.28. Estos parámetros son difíciles de determinar con precisión, pero se creó una estimación utilizando el Fire Modelling in Underground Mine using Ventsim Visual VentFIRE Software de D. J. Brake. El inicio del incendio (etapa de crecimiento) tarda 30 minutos en intensificarse. El pico del fuego dura 2.5 horas después de eso. Y luego el fuego disminuye (etapa de decaimiento) y se quema durante 4 horas. El fuego total durará 7 horas.

**Tabla 4.28**

*Sumario de Etapas de Incendio*

<b>Etapas de Incendio</b>	<b>Tiempo total (horas)</b>	<b>Velocidad de combustión (kg/h)</b>	<b>Masa Quemada (kg)</b>
<b>Inicio del Incendio</b>	0.5	80	40
<b>Pico del Incendio</b>	2.5	1439	3596
<b>Fin del Incendio</b>	4	80	320
<b>Total</b>	<b>7</b>	-	<b>3956</b>

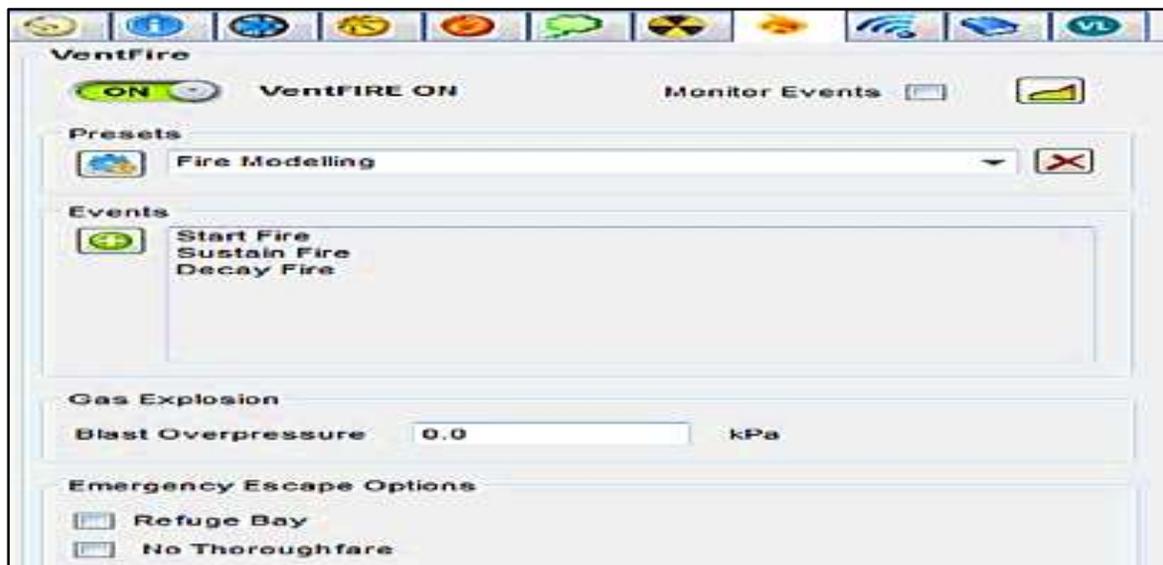
Fuente: Elaboración Propia

### 4.5.3 Simulaciones de Incendio

Las opciones de configuración establecidas en **largo plazo Unidad Minera al 2030.vsm – Stage 1** del archivo Ventsim Design antes de iniciar las simulaciones de incendio (la configuración de VentFire se muestra en la Figura 4.32 y fueron lo siguiente:

- Ventilación natural **encendida**;
- Configurar un modelado VentFire contra incendios con un Inicio del Incendio (Start Fire), Pico de Incendio (Sustain Fire) y Fin del Incendio (Decay Fire), que corresponden a la Tabla 4.28;
- El combustible para incendios se configuró para coincidir con la Tabla 4.27 lo más cerca posible;

- Las ubicaciones de **Refugio** (2) se identificaron e incluyeron en la simulación;
- Las ubicaciones de **Prohibido el Paso** se identificaron e incluyeron en la simulación.  
Estas son ubicaciones donde una persona no puede pasar una pared o subir una abertura de ventilación debido a que no hay escaleras (Todos los raises de ventilación vertical y Todas las resistencias de Bloques y de Bloqueos).
- Se asumió que se podía caminar a través de las siguientes paredes y puertas de ventilación:
  - ✓ Todas las resistencias de **Carga**;
  - ✓ Todas las resistencias de **Reguladores**;
  - ✓ Todas las resistencias de **Puertas**;
  - ✓ Todas las resistencias de **Tabique**.
  - ✓ Todas las resistencias de **Tapón con Manga**.



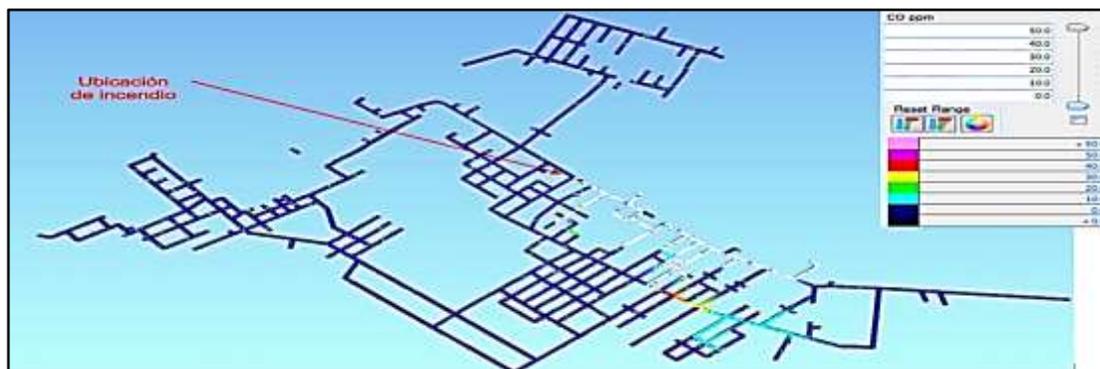
**Figura 4.32** Configuración de VentFire

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.5.3.1 Simulación de Incendios Nv 1740

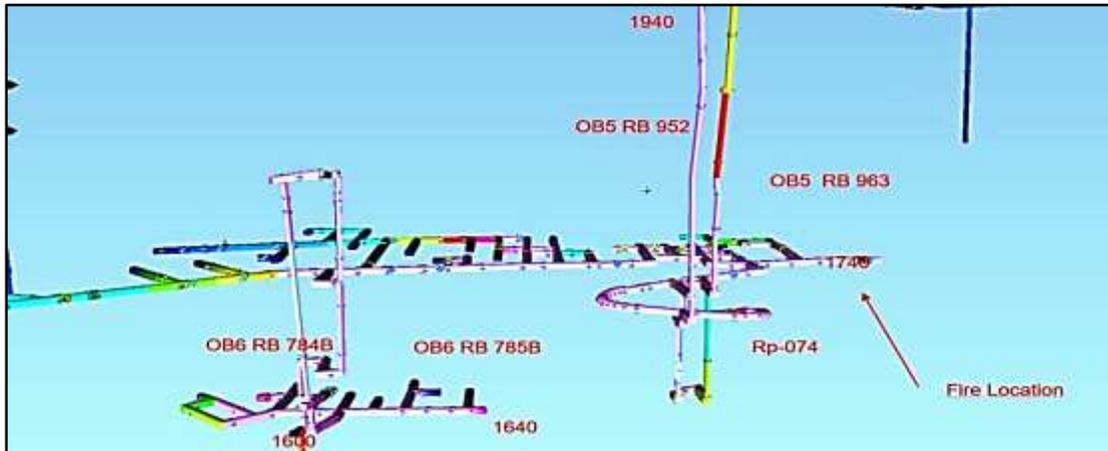
La siguiente lista proporciona detalles de la simulación de incendios en Nv 1740 después de 40 minutos de incendio:

- Figura 4.33 muestra una vista en planta de Nv 1740:
- Figura 4.34 muestra la mina mirando al sur oeste de Nv 1940 a Nv 1600, destacando las áreas afectadas.
- El esquema de color de CO se muestra en la Figura 4.34. El esquema de color muestra las áreas donde el CO del humo se propagará:
  - Azul Oscuro indica que no hay CO.
  - Azul claro indica 10 ppm de CO o menos.
  - Rosa a blanco indica áreas peligrosas de 50 ppm a mas
- En Nv 1740, todo el lado este del nivel se ve afectado por el CO.
- El CO del humo se mueve hacia abajo en Rp-074 y hasta OB5 RB 952 y OB5 RB 963 a 1940.
- El CO del humo también baja OB6 RB 785B y OB6 RB 785B a 1640 y 1600.



**Figura 4.33** Vista en Planta de Nv 1740 Después de 40 min de Fuego

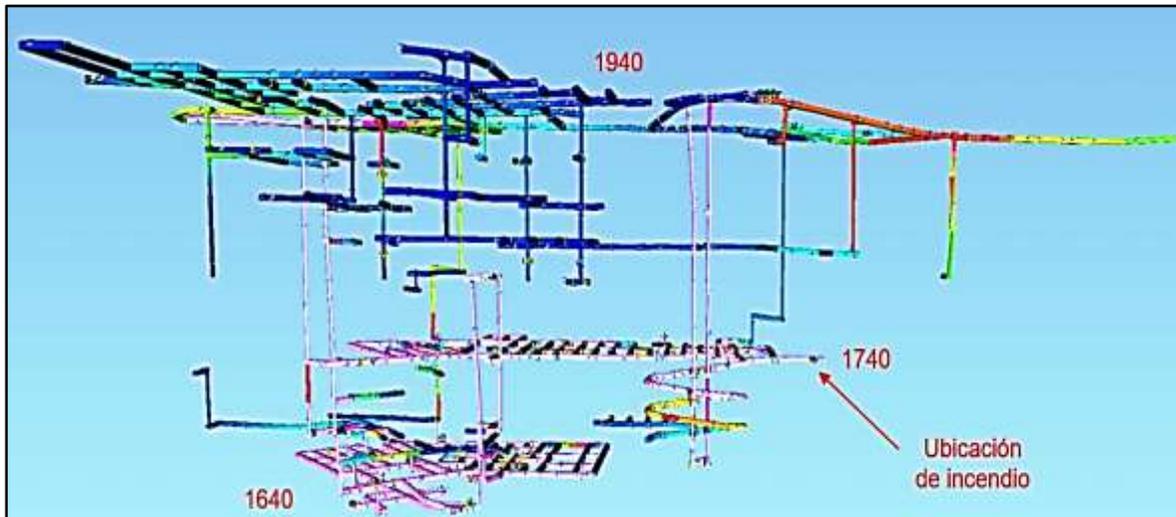
Fuente: Elaboración Propia



**Figura 4.34** Vista Hacia el Suroeste de Nv 1940 a Nv 1600 Después de 40 min de Incendio  
Fuente: Elaboración Propia

La figura 4.35 muestra la mina mirando al suroeste de Nv 1940 a Nv 1600, destacando las áreas afectadas.

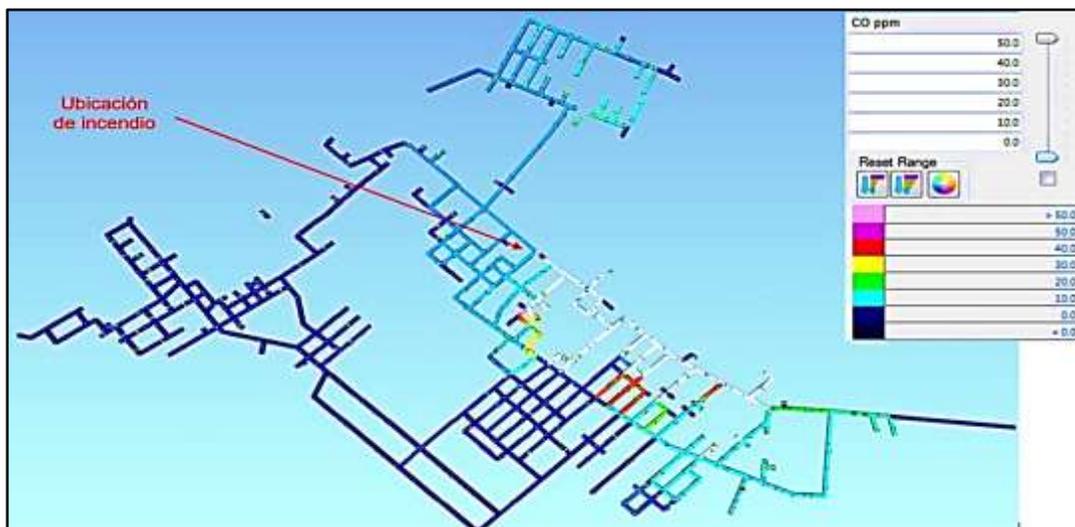
- El CO del humo se ha extendido a la totalidad de Nv 1640 y Nv 1940.
- El CO del humo comienza a extenderse a los nuevos niveles a partir de Nv 1940.



**Figura 4.35** Vista Hacia el Suroeste de Nv 1940 a Nv 1600 Después de 80 min de Incendio (solo en las áreas afectadas)  
Fuente: Elaboración Propia

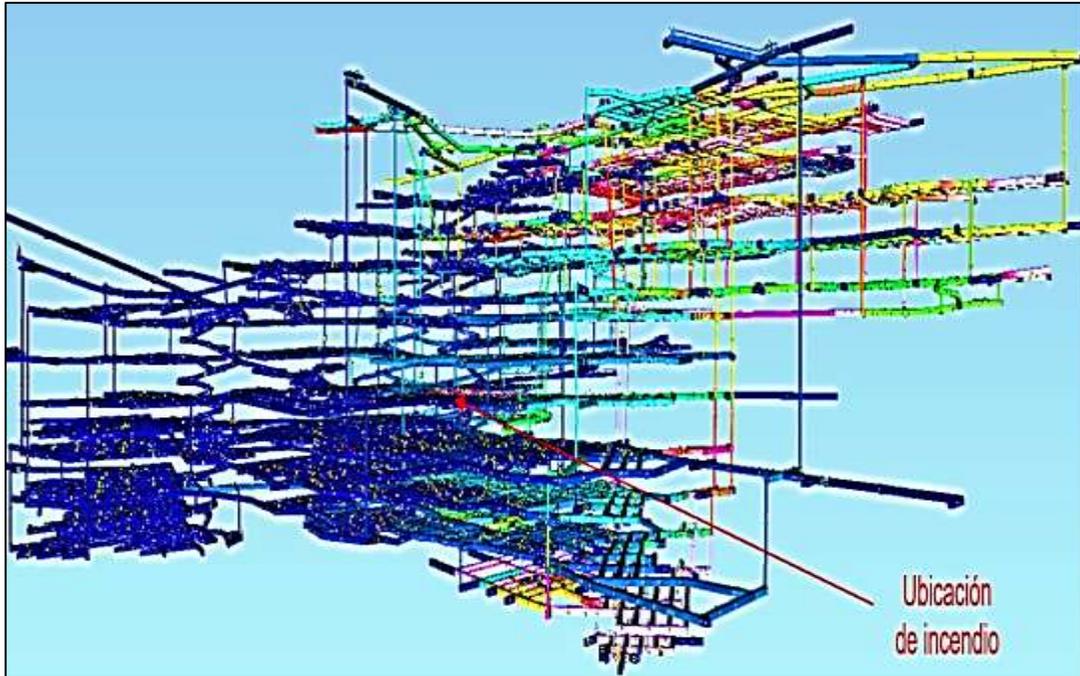
La siguiente lista proporciona detalles de la simulación de incendios en Nv 1740 después de 7 horas de incendio:

- Figura 4.36 muestra una vista en planta de Nv 1740.
- Figura 4.37 muestra la mina mirando hacia el norte.
- Figura 4.38 muestra la mina en vista en planta.
- En Nv 1740, todo el lado este del nivel se ve afectado por el CO. Además, una cantidad mínima de CO se propaga al aire fresco en la rampa (Rp-160) a través de un efecto llamado rollback. Ocurre cuando hay una inversión localizada de la dirección del flujo de aire sobre un incendio, generalmente caracterizado por el humo cerca del techo que se mueve hacia atrás contra el flujo general de aire sobre el fuego (Brake, 2013).
- Todo el lado superior oriental de la mina está afectado por el fuego.
- También se afecta parte del lado sudoeste de la mina.
- El lado sur y oeste de la mina no se vio afectado por el incendio.



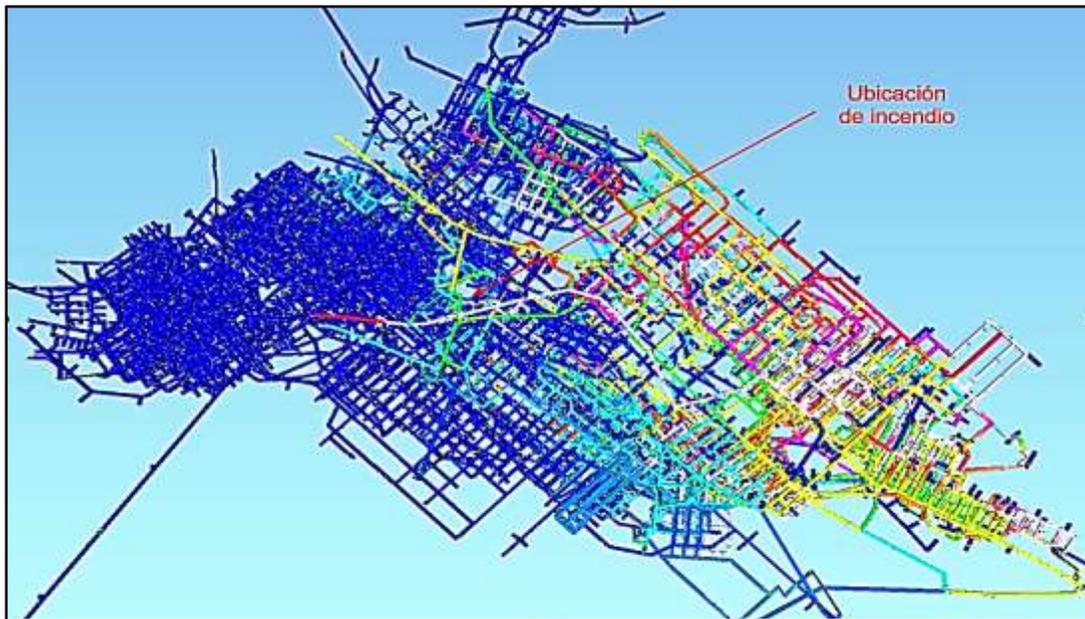
**Figura 4.36** Vista en Planta Nv 1740 Después de 7 Horas de Incendio

Fuente: Elaboración Propia



**Figura 4.37** *Desarrollo Minero Mirando al Norte*

Fuente: Elaboración Propia



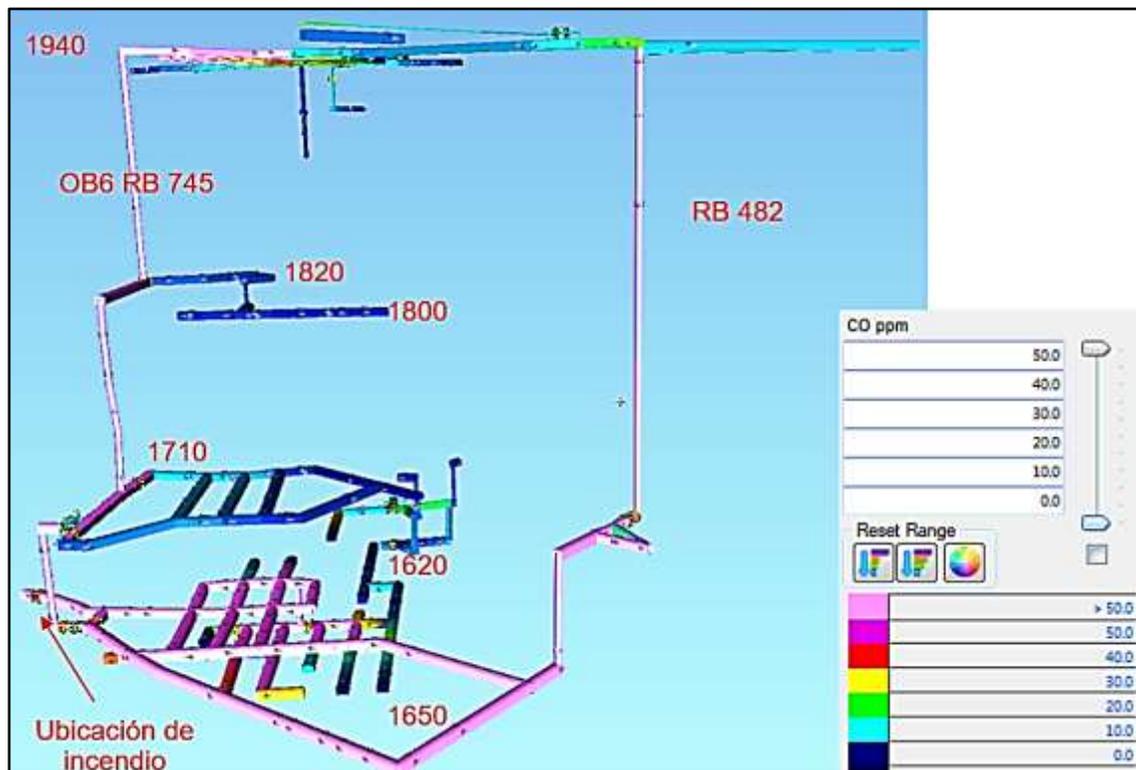
**Figura 4.38** *Desarrollo Minero en Vista en Planta*

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.5.3.2 Simulación de Incendios Nv 1650

La siguiente lista proporciona detalles de la simulación de incendios en Nv 1650 después de 40 minutos de incendio:

- Figura 4.39 muestra la mina mirando hacia el norte de Nv 1940 a Nv 1620, destacando las áreas afectadas;
- En Nv 1650, todo el lado este del nivel se ve afectado por el CO;
- El CO del humo sube OB6 RB Nv 745 y RB Nv 482 a Nv 1940, Nv 1710, Nv 1820 y Nv 1800.

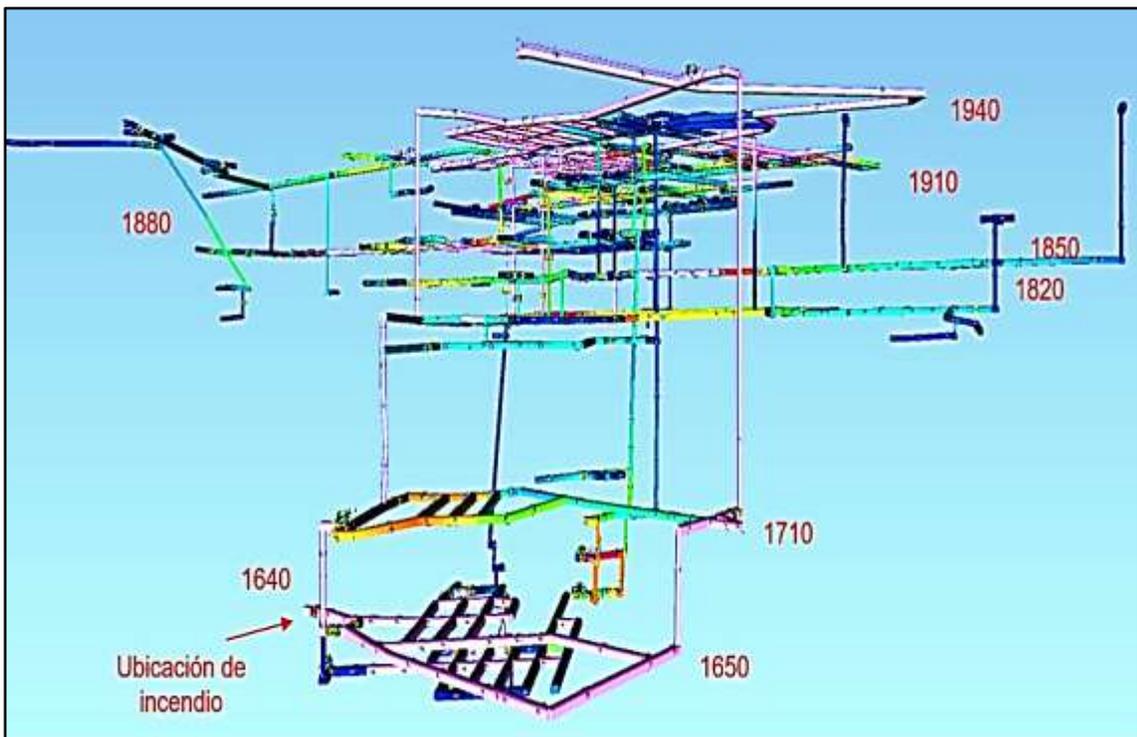


**Figura 4.39** Vista Hacia el Norte de Nv 1940 a Nv 1620 Después de 40 min de Incendio (solo en las áreas afectadas)

Fuente: Elaboración Propia

La siguiente lista proporciona detalles de la simulación de incendios en Nv 1650 después de 80 minutos de incendio:

- Figura 4.40 muestra la mina mirando hacia el norte de Nv 1940 a Nv 1620, destacando las áreas afectadas;
- El CO del humo se ha extendido a la totalidad de Nv 1640 y Nv 1940;
- El CO del humo comienza a extenderse a Nv 1910, Nv 1880, Nv 1850, Nv 1820 y Nv 1710.



**Figura 4.40** Vista Desde el Suroeste de Nv 1940 a Nv 1600 Después de 80 min de Incendio (solo en las áreas afectadas)

Fuente: Elaboración Propia

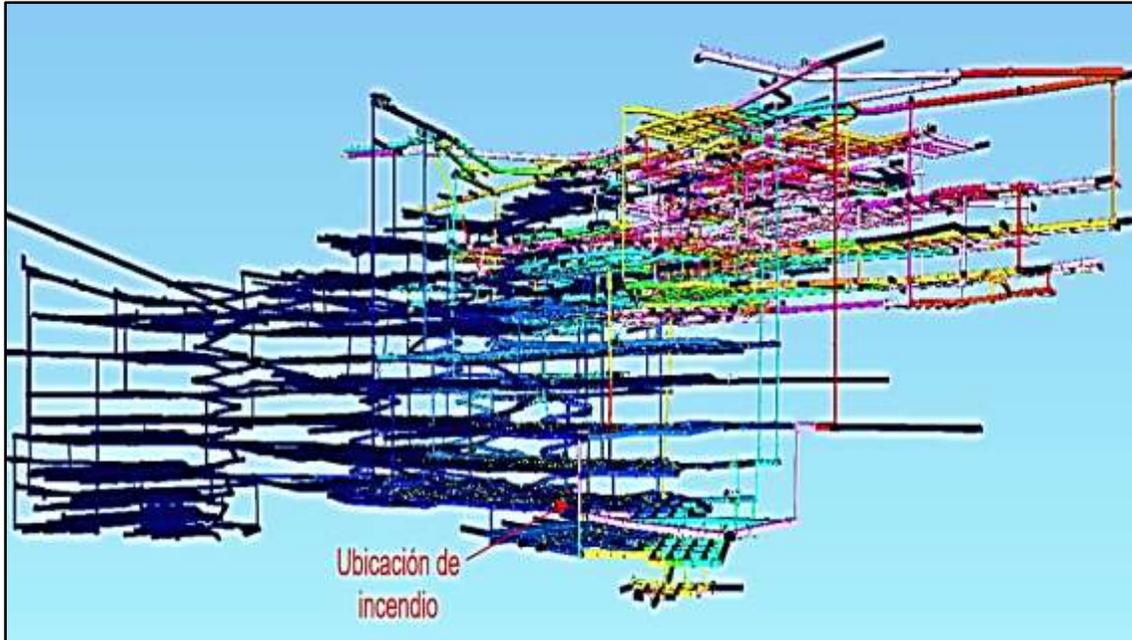
La siguiente lista proporciona detalles de la simulación de incendios en Nv 1650 después de 7 horas de incendio:

- Figura 4.41 muestra una vista en planta de Nv 1650.
- Figura 4.42 muestra la mina mirando hacia el norte.
- Figura 4.43 muestra la mina en vista en planta.
- En Nv 1650, el lado sur del nivel se ve afectado por el CO. Además, una cantidad mínima de CO se propaga nuevamente al aire fresco en el nivel a través de un efecto llamado rollback. Ocurre cuando hay una inversión localizada de la dirección del flujo de aire sobre un incendio, generalmente caracterizado por el humo cerca del techo que se mueve hacia atrás contra el flujo general de aire sobre el fuego (Brake, 2013).
- Todo el lado superior oriental de la mina está afectado por el fuego.
- También se afecta parte del lado sudoeste de la mina.
- El lado sur y oeste de la mina no se vio afectado por el incendio.

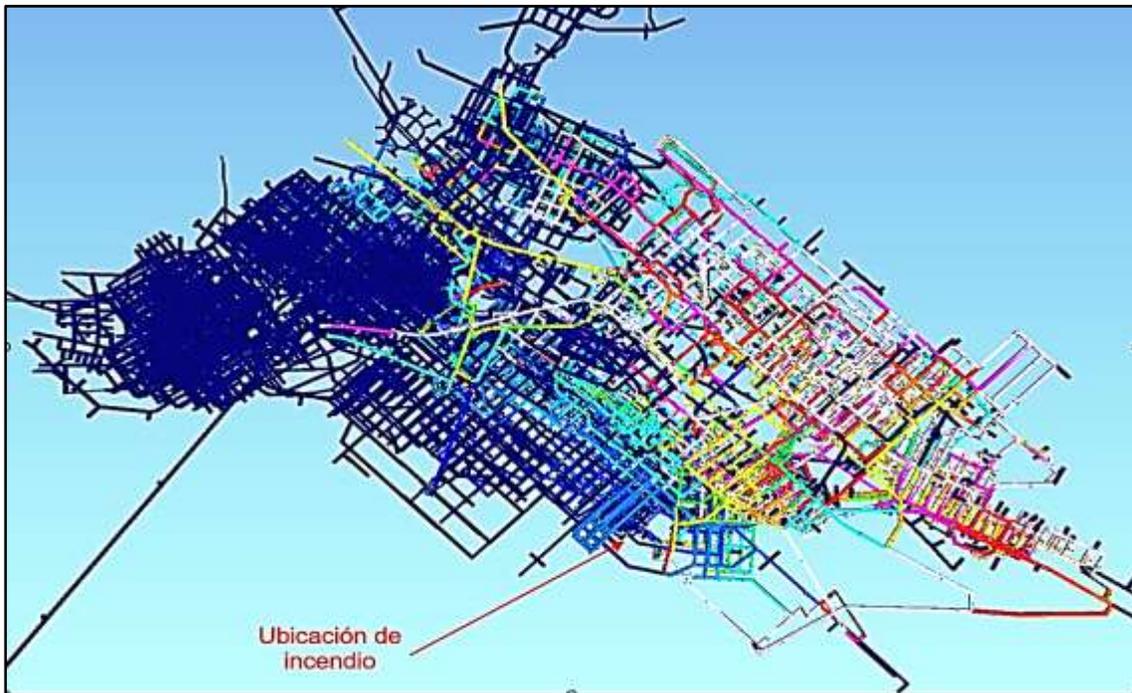


**Figura 4.41** Vista en Planta Nv 1650 Después de 7 Horas de Incendio

Fuente: Elaboración Propia



**Figura 4.42** *Desarrollo de la Mina en Vista en Planta*  
Fuente: Elaboración Propia

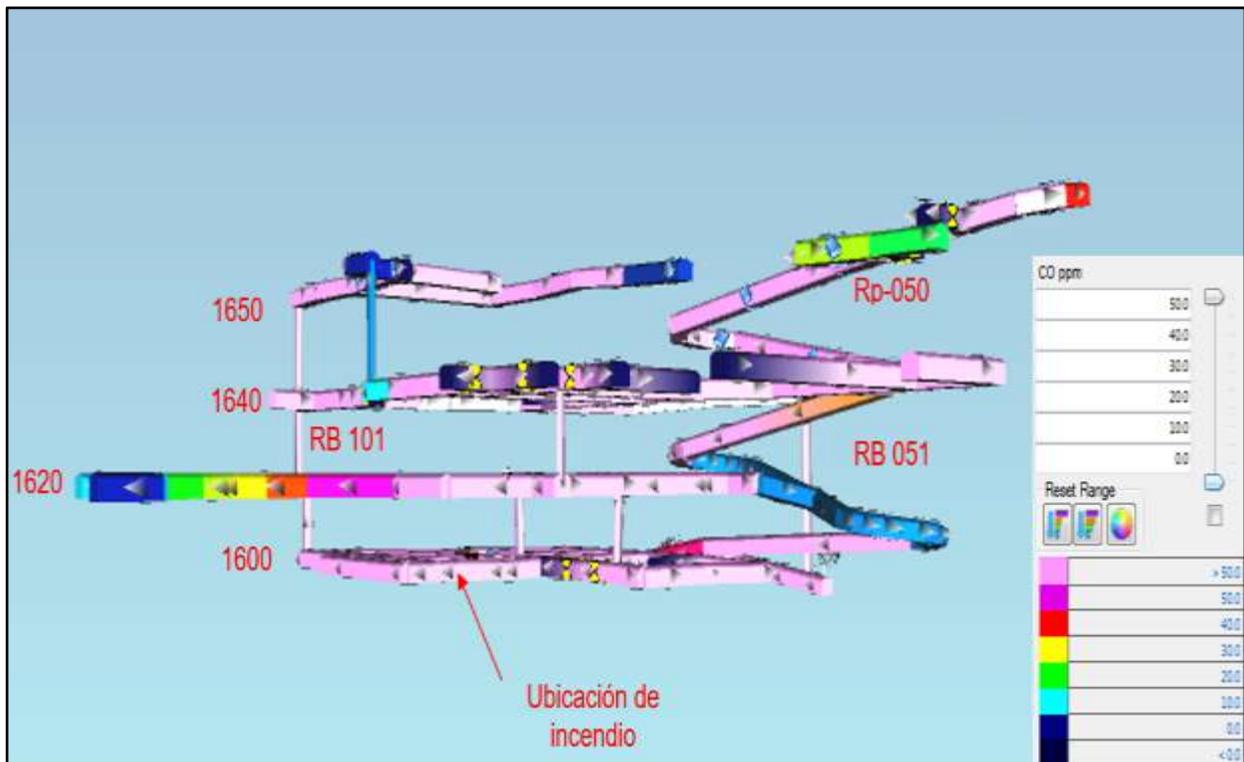


**Figura 4.43** *Desarrollo de la Mina Mirando Hacia el Norte*  
Fuente: Elaboración Propia

### 4.5.3.3 Simulación de Incendio Nv 1600

La siguiente lista proporciona detalles de la simulación de incendios en Nv 1600 después de 40 minutos de incendio:

- Figura 4.44 muestra la mina mirando hacia el norte de Nv 1650 a Nv 1600, destacando las áreas afectadas;
- En Nv 1650, todo el lado oeste del nivel se ve afectado por el CO;
- El CO del humo sube OB6 RB Nv 101 a Nv 1620, Nv 1640 y Nv 1650.
- El humo también afecta Rp-050.

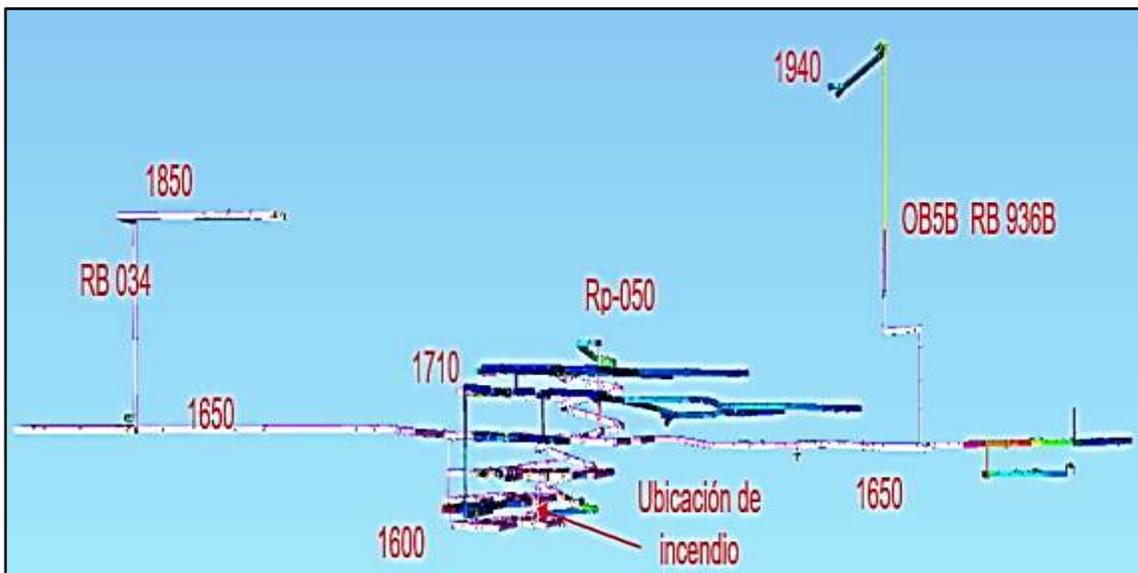


**Figura 4.44** Vista Desde el Norte de Nv 1650 a Nv 1600 Después de 40 min de Incendio (solo en las áreas afectadas)

Fuente: Elaboración Propia

La siguiente lista proporciona detalles de la simulación de incendios en Nv 1600 después de 80 minutos de incendio:

- Figura 4.45 muestra la mina mirando hacia el norte de Nv 1940 a Nv 1600, destacando las áreas afectadas;
- El CO del humo se ha extendido a la totalidad del lado oeste de Nv 1600, Nv 1620 y Nv 1640;
- El CO del humo comienza a extenderse a Nv 1940 a partir de Nv 1650 y OB5B RB 936B;
- El CO del humo también comienza a extenderse a Nv 1850 a partir de Nv 1650 y RB 034;
- El CO del humo también comienza a extenderse a Nv 1850 a partir de Nv 1650 y RB 034;
- El CO del humo también comienza a extenderse a Nv 1680 y Nv 1710 a partir de Rp-050.

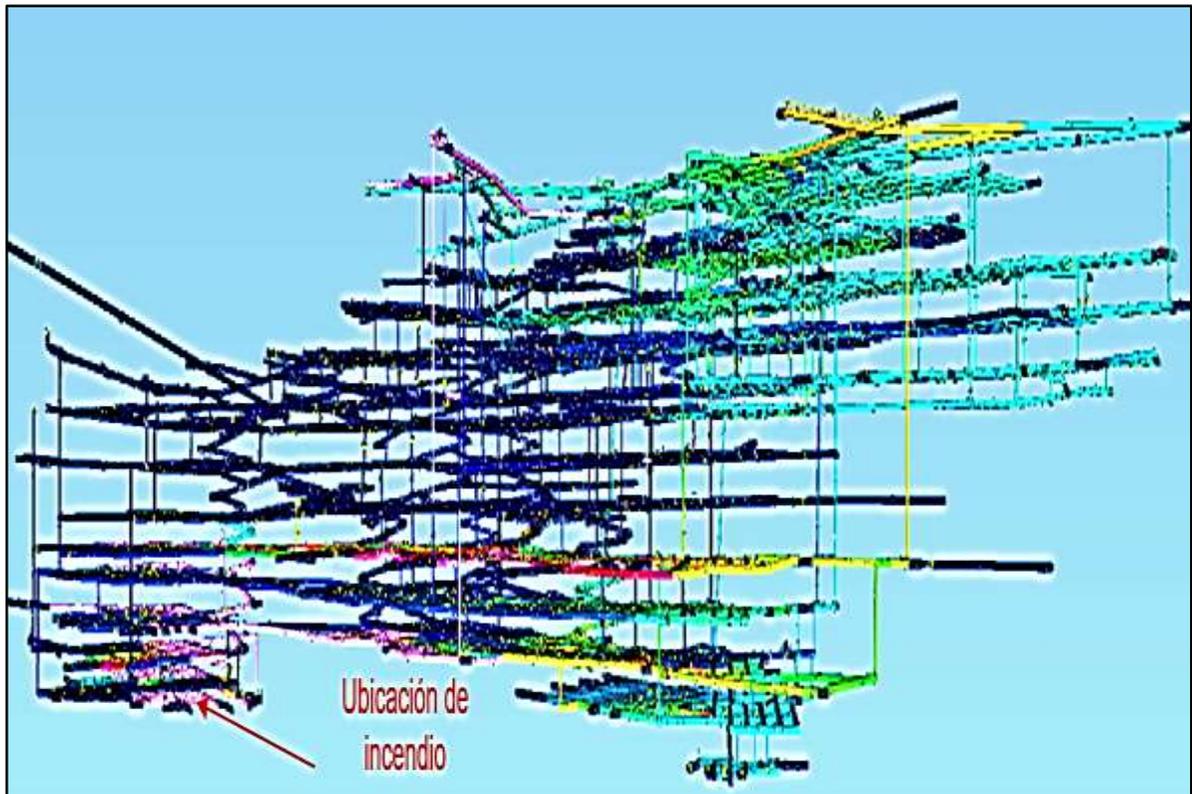


**Figura 4.45** Vista Desde el Nordeste de Nv 1940 a Nv 1600 Después de 80 min de Incendio

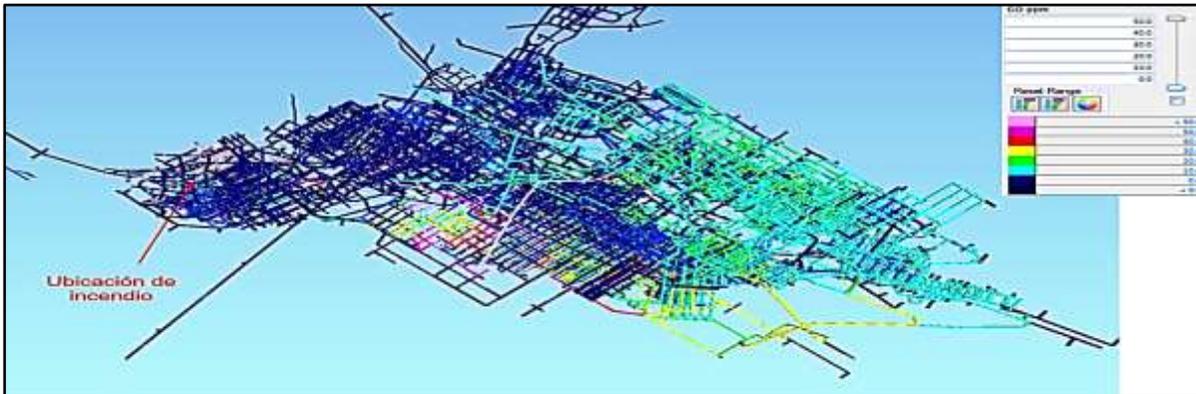
Fuente: Elaboración Propia

La siguiente lista proporciona detalles de la simulación de incendios en Nv 1600 después de 7 horas de incendio:

- Figura 4.46 muestra la mina mirando hacia el norte.
- Figura 4.47 muestra la mina una vista en planta de Nv 1600.
- Todo el lado superior oriental de la mina está afectado por el fuego.
- El fondo y el lado suroeste de la mina también se ven afectados por el incendio.
- Esta ubicación de incendio provocó que el humo más extendido se disparara a las otras dos ubicaciones de incendio. Esto es más probable debido a la recirculación del aire en los lugares clave de ventilación que permiten que se propague de manera efectiva.



**Figura 4.46** Desarrollo de la Mina Mirando Hacia el Norte  
Fuente: Elaboración Propia



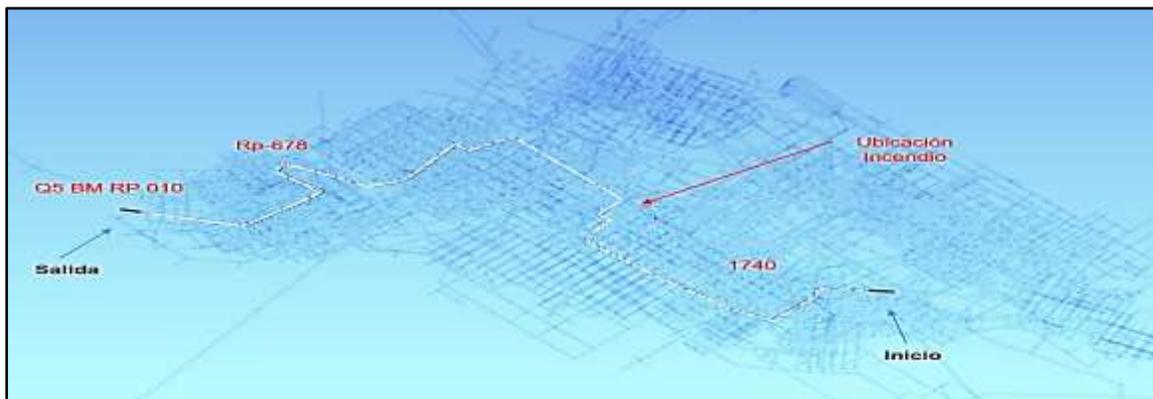
**Figura 4.47** Desarrollo de la Mina en Vista en Planta

Fuente: Elaboración Propia

## 4.5.4 Rutas de Escape

### 4.5.4.1 Ruta de escape de Nv 1740

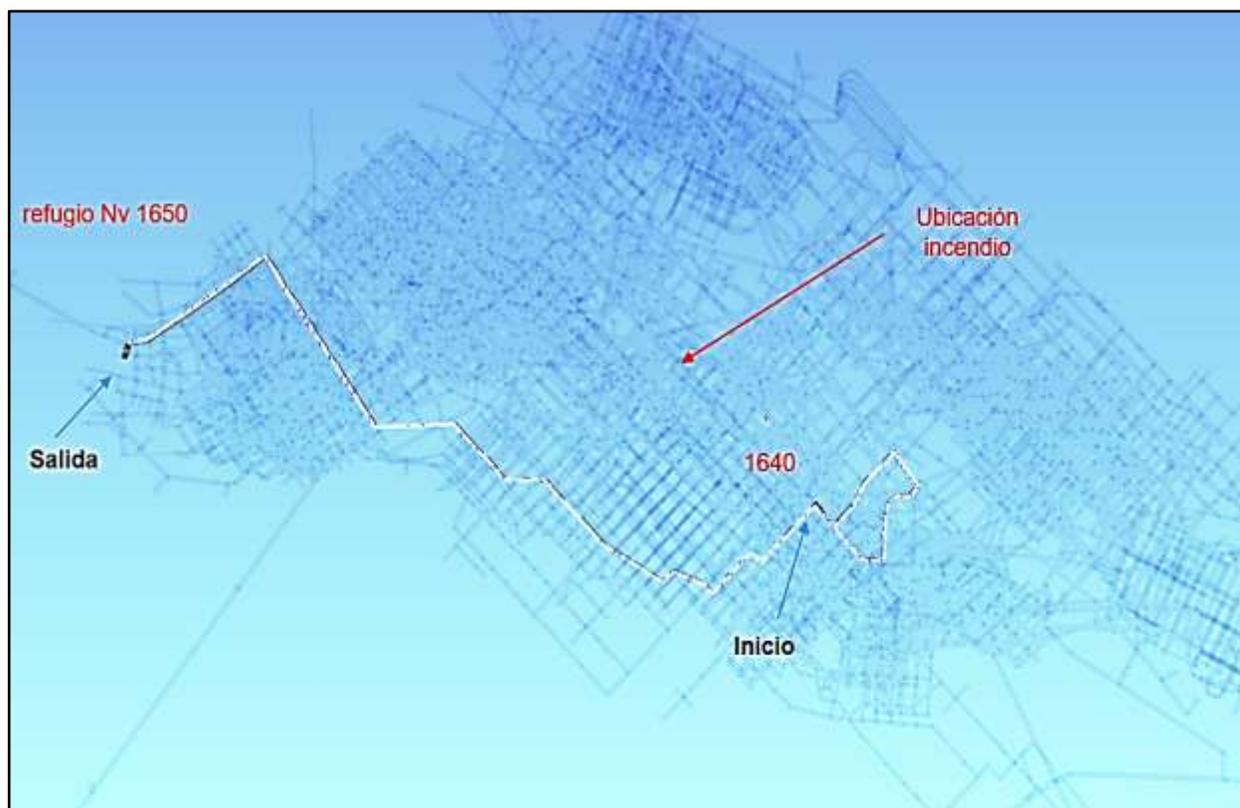
Al comienzo del incendio (primeros 30 minutos), hay una ruta de escape para los trabajadores en Nv 1740 al portal Q5 BM RP 010 a través de Rp-678. Son 33 minutos de tiempo de caminata de 1829 m y es la ruta más rápida. No tiene sentido que el trabajador esté expuesto a CO o humos. La ruta de escape para Nv 1740 se muestra a continuación en la Figura 4.48.



**Figura 4.48** Ruta de Escape de Nv 1740

Fuente: Elaboración Propia

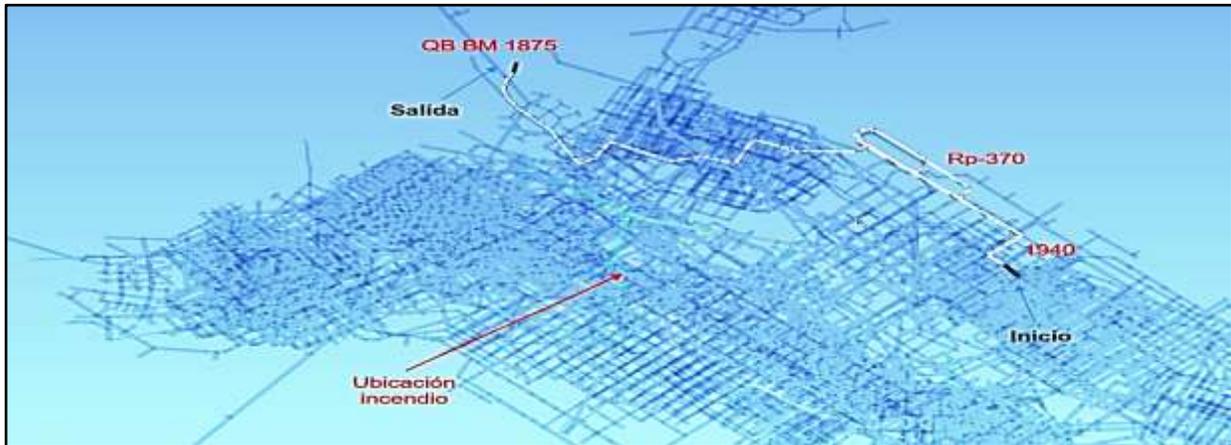
Al comienzo del incendio (primeros 30 minutos), hay una ruta de escape para los trabajadores en Nv 1640 al refugio Nv 1650 a través de Nv 1650 y Rp-074. Son 32 minutos de tiempo de caminata de 1813 m y es la ruta más rápida. No tiene sentido que el trabajador esté expuesto a CO o humos. La ruta de escape para Nv 1640 se muestra a continuación en la Figura 4.49.



**Figura 4.49** Ruta de Escape de Nv 1640

Fuente: Elaboración Propia

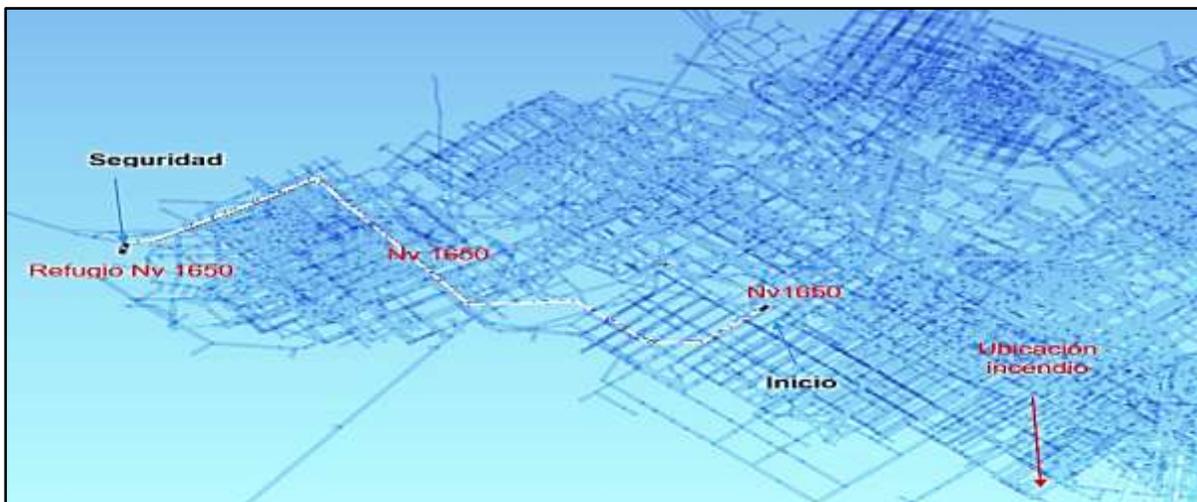
Al comienzo del incendio (primeros 60 minutos), hay una ruta de escape para los trabajadores en Nv 1940 hacia el QB BM 1875 a través de Rp-370. Son 29 minutos de tiempo de caminata de 1585 m y es la ruta más rápida. No tiene sentido que el trabajador esté expuesto a CO o humos. La ruta de escape para Nv 1940 se muestra a continuación en la Figura 4.50.



**Figura 4.50** Ruta de Escape de Nv 1940  
Fuente: Elaboración Propia

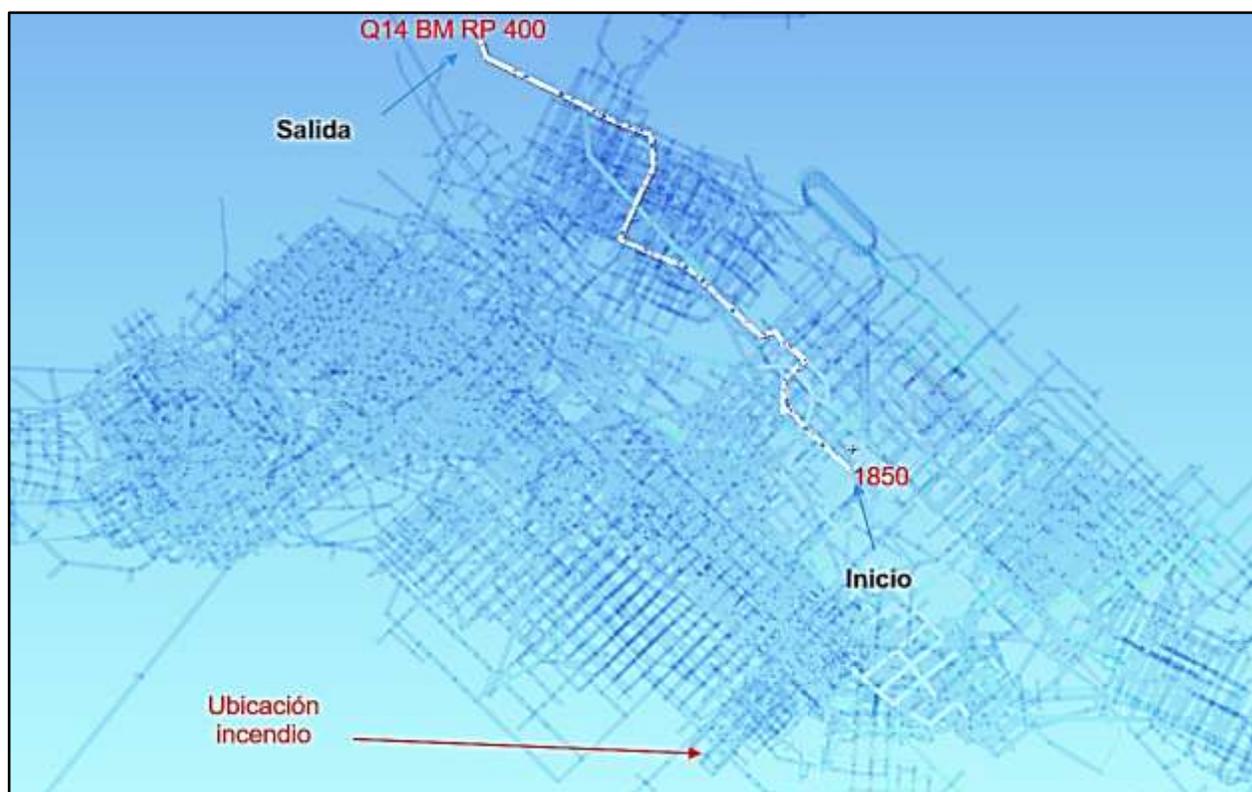
#### 4.5.4.2 Ruta de escape de Nv 1650

Al comienzo del incendio (primeros 30 minutos), hay una ruta de escape para los trabajadores en Nv 1650 al refugio Nv 1650 a través de Nv 1650. Son 16 minutos de tiempo de caminata de 891 m y es la ruta más rápida. No tiene sentido que el trabajador esté expuesto a CO o humos. La ruta de escape para Nv 1650 se muestra a continuación en la Figura 4.51.



**Figura 4.51** Ruta de Escape de Nv 1650  
Fuente: Elaboración Propia

Al comienzo del incendio (primeros 60 minutos), hay una ruta de escape para los trabajadores en Nv 1850 a la Q14 BM RB 400 a través de Nv 1850. Son 14 minutos de tiempo de caminata de 786 m y es la ruta más rápida. No tiene sentido que el trabajador esté expuesto a CO o humos. La ruta de escape para Nv 1850 se muestra a continuación en la Figura 4.52.



**Figura 4.52** Ruta de Escape de Nv 1850

Fuente: Elaboración Propia

Al comienzo del incendio (primeros 60 minutos), hay una ruta de escape para los trabajadores de Nv 1710 a Q5 BM RP 010 a través de Nv 1850. Son 33 minutos de tiempo de caminata de 1818 m y es la ruta más rápida. No tiene sentido que el trabajador esté expuesto a CO o humos. La ruta de escape para Nv 1710 se muestra a continuación en la Figura 4.53.



**Figura 4.53** Ruta de Escape de Nv 1710

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.5.4.3 Rutas de escape de Nv 1600

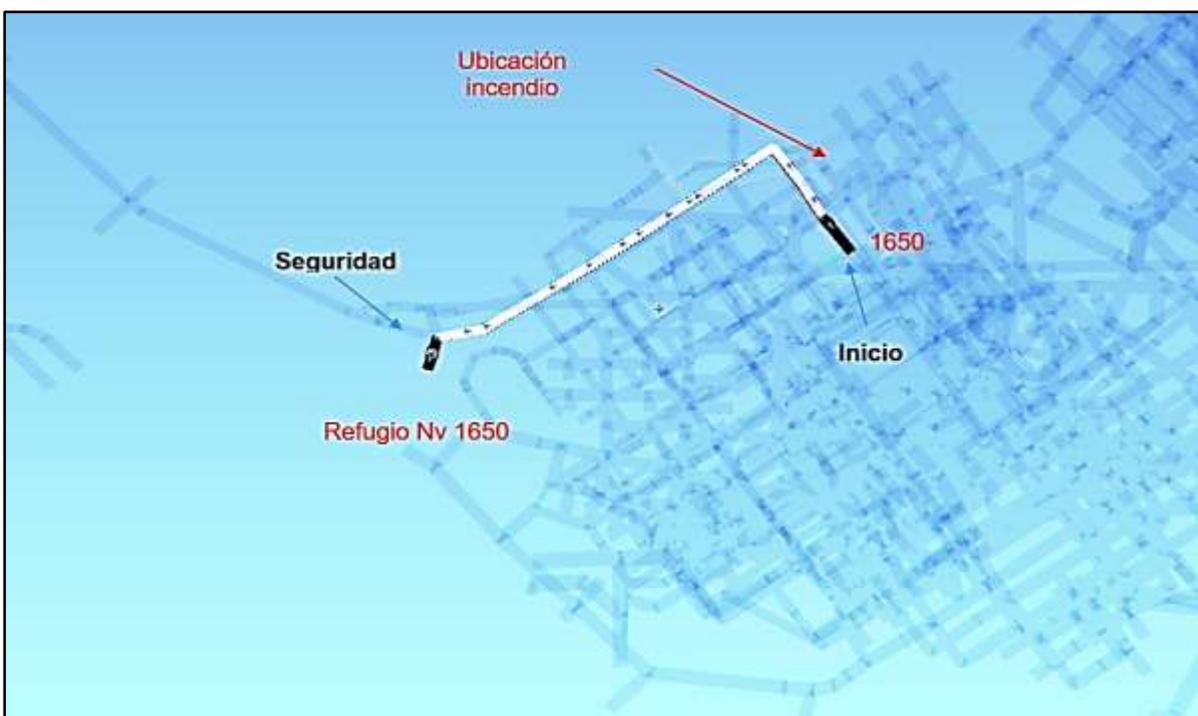
Al comienzo del incendio (primeros 20 minutos), hay una ruta de escape para los trabajadores en Nv 1600 al refugio Nv 1620 a través de Rp-050. Son 6 minutos de tiempo de caminata de 350 m y es la ruta más rápida. No tiene sentido que el trabajador esté expuesto a CO o humos. La ruta de escape para Nv 1600 se muestra a continuación en la Figura 4.54. Tenga en cuenta que también hay una opción para escapar al aire fresco a través de Rp-050 y Q5 BM RP 010. Sin embargo, eso toma 41 minutos.



**Figura 4.54** Ruta de Escape de Nv 1600

Fuente: Elaboración Propia

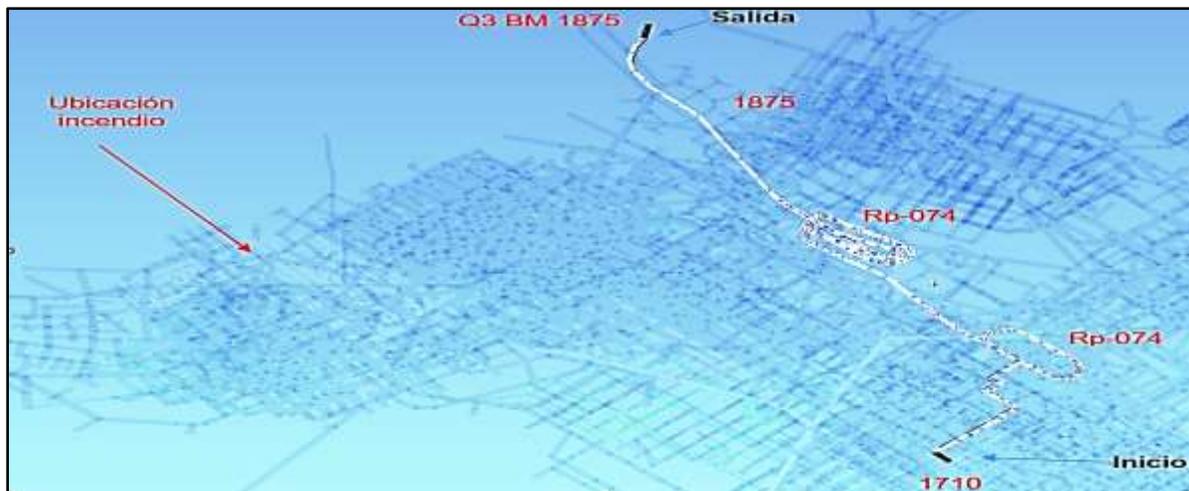
Al comienzo del incendio (primeros 60 minutos), hay una ruta de escape para los trabajadores en Nv 1650 hasta el refugio Nv 1650. Son 6 minutos de tiempo de caminata de 323 metros y es la ruta más rápida. No tiene sentido que el trabajador esté expuesto a CO o humos. La ruta de escape para Nv 1650 se muestra a continuación en la Figura 4.55. Tenga en cuenta que también hay una opción para escapar al aire fresco a través de Rp-050 y Q5 BM RP 010. Sin embargo, esto demora 31 minutos.



**Figura 4.55** Ruta de Escape de Nv 1600

Fuente: Elaboración Propia

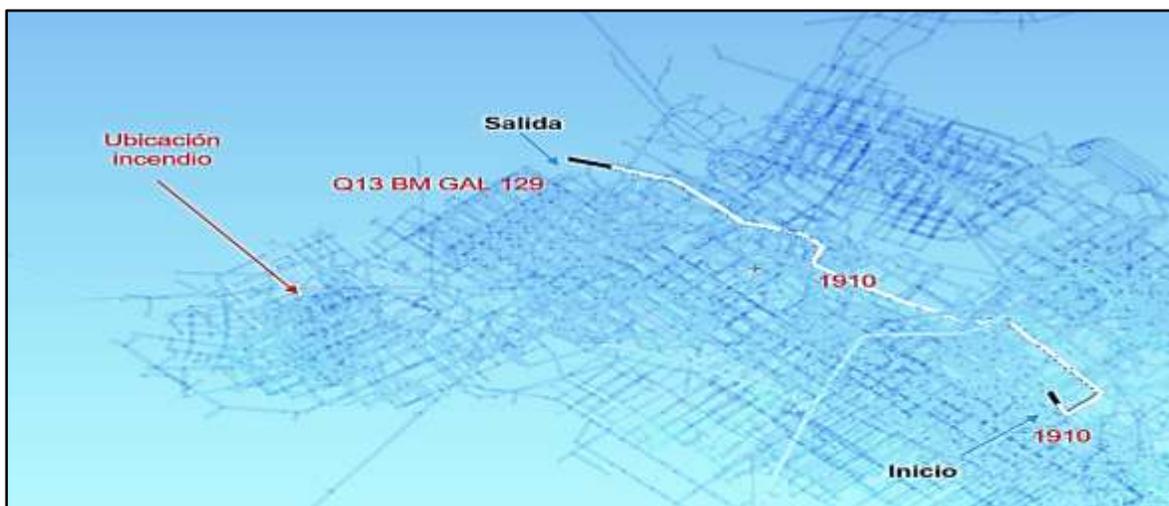
Al comienzo del incendio (primeros 75 minutos), hay una ruta de escape para los trabajadores en Nv 1710 a la Q3 BM 1875 a través de Rp-074. Son 32 minutos de tiempo de caminata de 1710 m y es la ruta más rápida. No tiene sentido que el trabajador esté expuesto a CO o humos. La ruta de escape para Nv 1710 se muestra a continuación en la Figura 4.56.



**Figura 4.56** Ruta de Escape de Nv 1710

Fuente: Elaboración Propia

Al comienzo del incendio (primeros 90 minutos), hay una ruta de escape para los trabajadores en Nv 1910 hasta la Q3 BM 1875 a través de Rp-074. Son 13 minutos de tiempo de caminata de 759 m y es la ruta más rápida. No tiene sentido que el trabajador esté expuesto a CO o humos. La ruta de escape para Nv 1910 se muestra a continuación en la Figura 4.57.



**Figura 4.57** Ruta de Escape de Nv 1910

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.5.5 Planos de Escape

Los planos de Emergencia de la Mina deben actualizarse periódicamente y de acuerdo con las regulaciones mineras de Perú. Artículo 252 establece que los planos de ventilación deben actualizarse cada seis meses o cuando haya un cambio en la red de flujo de aire. Para las minas tan grandes y complejas, estos planos de emergencia deben mantenerse actualizados para garantizar que el personal tenga la información correcta durante una emergencia. Estos paquetes deben estar disponibles en la oficina de seguridad en la superficie, en la oficina del departamento de ventilación, en las estaciones de refugio / almuerzos, en las entradas del portal, en los talleres y en las zonas de abastecimiento de combustible. También ayuda en el caso de que un trabajador resulte lesionado y el personal de rescate, que no esté familiarizado con la mina, requiera esta información para sacar a la persona de la mina de forma rápida y segura. Debe incluir, pero no se limitar a la siguiente información:

- Toda la información del plan de nivel de ventilación:
  - sección larga de la mina con todos los flujos de aire importantes.
  - vista en planta para cada nivel.
  - coordenadas de UTM WFS 84.
- Extintores de incendio.
- Estaciones de rescate o estaciones de refugio.
- Estaciones de primeros auxilios.
- Espacios de aire fresco (raíces de aire fresco, rampas de aire fresco).
- Rutas de fugas.
- Ubicaciones de puertas y paredes y si se pueden pasar o no.

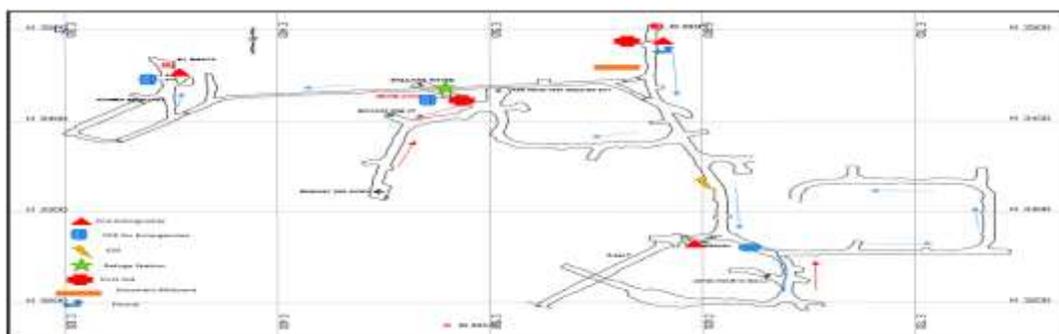
- Bases de aire fresco temporales (personalizadas según la cantidad de personas que trabajan en ciertas áreas).
- EPP para emergencias.
- Infraestructura de redes de agua (llaves / grifos).
- Teléfonos o dispositivos de comunicación.
- Subestaciones eléctricas, cuadros eléctricos.

Cabe señalar que estas recomendaciones van más allá de lo que solicita el Artículo 341 en las regulaciones mineras de Perú.

También debe incluir instrucciones para el plan de emergencia que deben incluir:

- Descripción de personas y equipos.
- Acciones que tomar durante un incendio.
- Acciones que están prohibidas durante un horario normal o de emergencia (por ejemplo, abrir una puerta).
- Rutas donde los gases tóxicos se dispersarán durante un incendio, tengan en cuenta todas las áreas, equipos, etc.

La Figura 4.58 muestra un ejemplo del plan de nivel de emergencia de la mina.



**Figura 4.58** Ejemplo de Plan de Nivel de Emergencia de la Mina  
Fuente: Elaboración Propia

Las regulaciones mineras de Perú (Anexo 19 - REQUISITOS MÍNIMOS DE SEGURIDAD DE LAS ESTACIONES DE REFUGIO PARA CASOS DE SINIESTROS) establecen que una estación de refugio no debe ubicarse a más de 500 m de las frentes de desarrollo o galerías transversales. Al completar la simulación de incendios y las rutas de escape, se observó que muchas de las ubicaciones de trabajo simuladas se encontraban a más de 500 m de una ubicación segura (refugio o entrada del portal). Se recomienda que el personal de La Unidad Minera revise esto internamente para asegurarse de que se cumplan las normas.

#### **4.5.6 Programa de Ventilación de la Mina**

Un programa de ventilación de la mina es un aspecto importante para garantizar que los planes de escape y los planos de emergencia de la mina se mantengan adecuadamente y que la salud y seguridad del trabajador sean prioritarias. Esta sección describirá otros procedimientos de programas relacionados con la ventilación que deben incorporarse en el trabajo diario del departamento de ventilación para ayudar con esos objetivos.

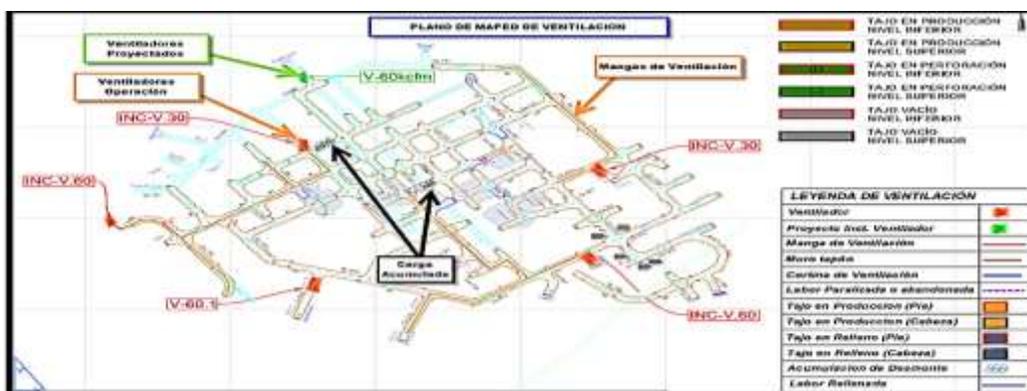
##### **4.5.6.1 Planificación General de Ventilación**

Para garantizar que las operaciones de la mina se mantengan informadas de todos los planes, propuestas y cambios en el Sistema de ventilación, es necesario preparar y emitir Planes de ventilación una o dos semanas antes de los cambios de ventilación. Los dibujos planificados se mostrarán en el dibujo completo con los ajustes o accesorios planeados (ventiladores, conos de entrada, malla de seguridad, adaptador del ventilador, conductos en espiral alrededor de las esquinas, etc.) Estas impresiones deben ser lo más detalladas posible para que puedan ayudar a controlar la calidad y asegurar que los contratistas están haciendo lo que se requiere. Si no instalan nada de forma estándar o correcta, hay pruebas de que les mostró lo que necesitaban. (XIX)

El plan de ventilación debe incluir lo siguiente:

- Tipo de ventilación y tipo de desarrollo (auxiliar, regulador, etc.);
- Circuitos de ventilación;
- Ubicación y nombre de los piques de ventilación (ahora y en el futuro);
- Especificaciones del ventilador, accesorios (ventiladores, conos de entrada, malla de seguridad, etc.);
- Requisitos de aire para los lugares de trabajo (qué equipo trabaja en el área, HP del motor Diesel);
- Especificaciones del ducto (tipo, número de piezas, conducto en espiral en las esquinas, adaptador de ventilador);
- Sección y número de áreas de admisión / extracción en la mina;
- Firmas y aprobaciones para el plan-
- Escala, cuadrícula y flecha norte.
- Mapeo diario de ventilación en donde se describirá los detalles de cada nivel de la mina.

(Ver Figura 4.59).



**Figura 4.59** Ejemplo de Mapeo de Ventilación

Fuente: Elaboración Propia

#### **4.5.6.2 Programa de Mantenimiento para Ventiladores**

El programa de mantenimiento y la documentación para los ventiladores del sistema de ventilación deben incluir los siguientes controles mensuales:

- Inspecciones de la infraestructura eléctrica.
- Controles de motores eléctricos.
- Aspas / tornillos.
- Lubricación de puertas.

Esto asegurará que los ventiladores funcionarán de manera segura dentro de ellos. Se mitigará la posibilidad de mal funcionamiento o averías. Esto deberá hacerse en asociación con electricistas / personal de mantenimiento. La ventilación puede coordinar y supervisar estas tareas para asegurarse de que los elementos de esta lista estén bien atendidos. El mantenimiento también puede incluir lavar las aspas del ventilador (se ensucian y pierden un 10-20% de eficiencia) o cambiar los ángulos de las aspas para adecuar el ventilador a la resistencia de la mina.

#### **4.5.6.3 Procedimiento de Control de Gas y Corte de Energía**

El procedimiento de control de gas es un paquete preparado para proporcionar orientación al personal que realiza los controles de gas después de voladuras grandes o no rutinarias. Se necesita determinar quién es el propietario de este paquete, pero con los aportes del Departamento de Ventilación (puede ser el departamento de seguridad). El paquete de limpieza de voladuras se preparará para cada voladura que requiera un chequeo de gas. El paquete incluirá una lista detallada, en orden cronológico, de áreas para consultar con notas o precauciones según sea necesario. También incluirá un conjunto de planes de ventilación para proporcionar más información al personal de Control de Voladuras. El paquete contendrá la información más reciente sobre los flujos de ventilación en la mina. Se emitirán dos paquetes: uno para el jefe de

Turno o Supervisor a cargo del Control de Voladuras y otro para que la tripulación los lleve con ellos.

Se requiere una lista de verificación y un procedimiento para asegurarse de que todos los ventiladores estén encendidos (en superficie y bajo tierra), que todos los reguladores estén bien, etc., en caso de un apagón. Mostrará qué ventiladores activan automáticamente y la secuencia de cómo encender un ventilador y quién es responsable del procedimiento.

#### **4.5.6.4 Programa de Reporte de Problemas de Ventilación**

Se necesita un programa para que los trabajadores reporten problemas de ventilación. Esto permitirá a los trabajadores y supervisores comunicar los problemas de ventilación que encuentren. También es necesario que exista un programa para garantizar que esos problemas se documenten y solucionen de manera oportuna. También debe haber un procedimiento para reportar problemas a la junta de seguridad / trabajo y explicaciones sobre cómo resolver el problema y garantizar la seguridad del trabajador.

#### **4.5.6.5 Prevención de Accesos a los Frentes con Suministro de Oxígeno Agotado sin Flujo**

- Un procedimiento para evitar que los trabajadores, visitantes o cualquier persona entren en frentes no ventiladas. Es importante tener esto implementado porque no todos sabrán qué áreas no están ventiladas y esto evita cualquier accidente relacionado con eso.
- La abertura debe estar bien protegida con una malla (para las barricadas permanentes), o una cuerda (para las barricadas temporales). Esto es para evitar la entrada involuntaria).
- Un letrero "Peligro – Manténgase alejado – Aire viciado" debe colocarse en una posición prominente en la entrada. (signos prefabricados). (Ver Anexo 6).
- La persona que colocó el letrero allí indicará su nombre y la fecha.

- En las chimeneas y bajadas, la primera escalera debe ser retirada de la bajada o las tablas ser clavadas adecuadamente sobre los peldaños para hacer que la escalera no sea utilizable.
- La condición de la entrada a cada una de estas vías de acceso o frentes debe ser verificada por un Supervisor o persona de ventilación adecuada con regularidad.
- El Supervisor debe garantizar que cada trabajador en el área debe ser informado de las posibles condiciones peligrosas en el área;
- Incluya áreas con barricadas en las impresiones de ventilación para aumentar la conciencia del trabajador;
- Cuando el área está ventilada, se puede inspeccionar el área para asegurarse de que haya suficiente oxígeno (19.5% por volumen), no hay gases tóxicos, etc. y la persona que la lo coloco puede quitar el letrero o alguien con autorización directa para esa persona. La persona que inspecciona el área debe conocer el peligro involucrado, el equipo de prueba requerido, los dispositivos de protección personal, etc. (Ver Anexo 7).

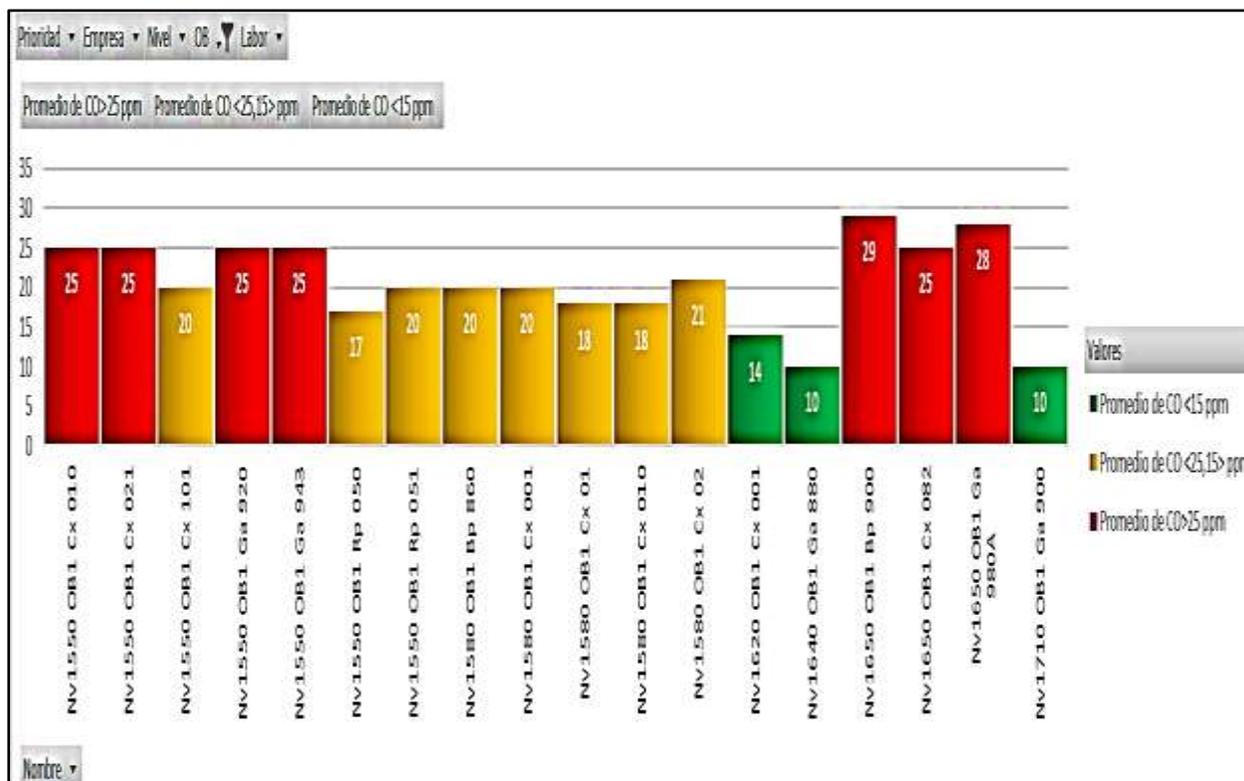
#### **4.5.6.6 Programa de Estrés de Calor y Regimiento de Descanso en el Trabajo**

El estrés por calor puede afectar a las personas de diferentes maneras, y algunas personas son más susceptibles que otras. Se puede implementar un régimen de descanso en el trabajo si las temperaturas de la mina se calientan demasiado para los trabajadores. El departamento de ventilación o seguridad puede educar a los trabajadores sobre el estrés por calor, las señales y qué hacer al respecto. El estrés por calor es un problema cuando las áreas de trabajo se calientan demasiado y los trabajadores pueden lesionarse seriamente. Este es un programa donde un Comité Conjunto de Salud y Seguridad es importante. Permite que personas de todos los diferentes departamentos colaboren y se aseguren de que todos puedan trabajar de manera segura.

#### 4.5.6.7 Control de PKIs de Ventilación

La toma de datos en mina con respecto a los valores de CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, T° C, V (velocidad de aire) y coberturas locales se deberá de visualizar en graficas en donde la criticidad estará diferenciada por los colores Verde (Buenas condiciones), Naranja (Condiciones no Adecuadas) y Rojo (Condición Critica), generando una acción para cada desvío. A continuación, se muestra un ejemplo los cuadros de KPIs a gestionar.

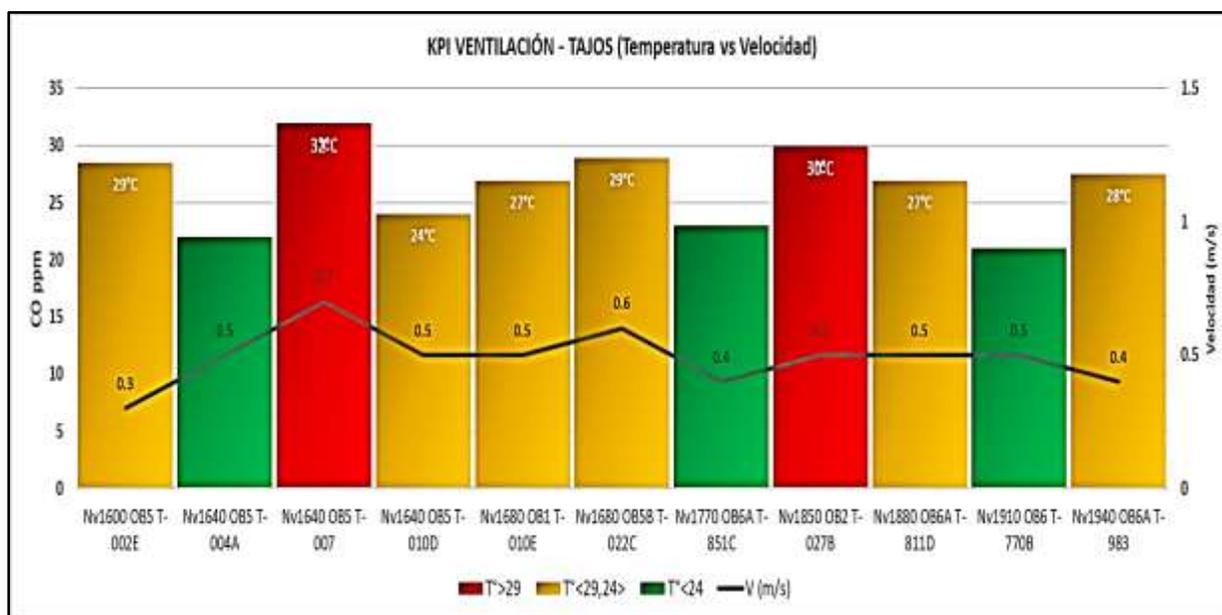
En la figura 4.60, se tiene una gráfica en donde se muestra las labores Vs Concentración de CO, en donde se muestra claramente que se tiene 7 labores críticas y 8 labores en condiciones no adecuadas y 3 labores que cumplen los parámetros de ventilación.



**Figura 4.60** Labores Vs Concentración de CO

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 4.61, se tiene una gráfica en donde se muestra las labores Vs Concentración de T° C, en donde se muestra claramente que se tiene 2 labores críticas y 6 labores en condiciones no adecuadas y 3 labores que cumplen con la temperatura respectiva los parámetros de ventilación. Adicionalmente en el grafico podemos visualizar las velocidades en cada labor en donde se analizará las acciones correctivas para los que se encuentran.



**Figura 4.61** Labores Vs Concentración de T° C  
Fuente: Elaboración Propia

## 4.6 Análisis de la Ventilación Auxiliar

### 4.6.1 Introducción

La gestión importante para el circuito auxiliar es analizar las diferentes opciones de diseño de ductos auxiliares, así como determinar el tamaño máximo de ducto permisible en un encabezado de desarrollo típico en la Unidad Minera. El rumbo considerado es típicamente dimensionado en el modelo de 5.5 m x 4.6 m. La estructura de la nota primero introduce la teoría

de fondo de las resistencias de los conductos mayor y menor, y la fuga del conducto. Sobre la base del trabajo anterior en el dimensionamiento principal de ventilación, se proporciona un resumen de la regulación peruana con respecto a la cantidad de aire fresco requerida en una cara de producción o desarrollo. La teoría facilita la discusión sobre si una vía aérea debería tener un conducto más grande o dos conductos más pequeños, así como sus respectivas ventajas y desventajas.

## 4.6.2 Teoría

### 4.6.2.1 Mayor Resistencia – Fricción de Ducto

La mayor resistencia en la ventilación de la mina se debe a los efectos viscosos que surgen del contacto del aire con una superficie sólida. Las superficies se caracterizan por su rugosidad: una pared más áspera generará resistencias más grandes, mientras que las paredes más suaves producirán una resistencia comparativamente más baja. Esa resistencia en el campo minero se denota por el factor de fricción de Atkinson,  $k_{atk}$ , que se relaciona con el factor de fricción adimensional de Darcy en la Ecuación 11.

Donde

$$f_{darcy} = \frac{8k_{atk}}{\rho_{ref}}$$

**Ecuación 11**

$\rho_{ref}$  : la densidad de referencia asociada con el factor de fricción de Atkinson, tomada en condiciones STP (temperatura y presión estándar) con el valor de 1.2 kg / m<sup>3</sup>.

(o conducto), puede relacionarse con la pérdida de presión estática mediante la siguiente ecuación de energía 1-D simplificada<sup>3</sup>.

$$\Delta p = \rho \left[ f \frac{L}{D_h} \frac{\bar{U}^2}{2} - g\Delta z \right]$$

**Ecuación 12**

<sup>3</sup> Robert W. Fox, Alan T. McDonald, Philip J. Pritchard. *Introduction to Fluid Mechanics*. 6<sup>th</sup> Ed. John Wiley & Sons, 2004

Donde:

$\Delta p$	cambio de presión estática	[Pa].
$\rho$	densidad real dentro del conducto	[kg/m <sup>3</sup> ]
D	Diámetro hidráulico = $(4 \times \text{Área}) / \text{Perímetro}$	[m]
L	longitud del conducto	[m]
$\bar{U}$	velocidad promedio del ducto	[m/s]

$g\Delta z$  término que relaciona un cambio de elevación en la presión estática dentro de la vía aérea, y se conoce como presión potencial. Una caída en altura aumenta la presión estática, mientras que un aumento en la altura genera una disminución en la presión estática.

#### 4.6.2.2 Resistencia secundaria – Pérdida por Choque

Un objeto presente en la vía aérea, un cambio en su dimensión, divisiones o curvas mejorará la resistencia del fluido y dará lugar a un aumento en la pérdida de presión estática. Estas resistencias adicionales se tratan como pérdidas menores con una pérdida de choque separada o un factor k que se demuestra mediante la Ecuación 13.

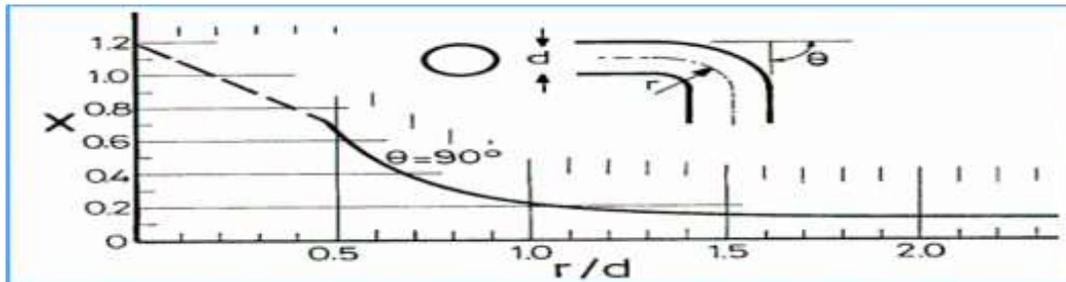
$$\Delta p = \rho \left[ k \frac{\bar{U}^2}{2} \right] \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde k = factor-k o pérdida de choque

Por lo tanto, la Ecuación 12 y la Ecuación 13 se pueden combinar para obtener la suma de pérdida de presión estática entre dos puntos, como en la Ecuación 14,

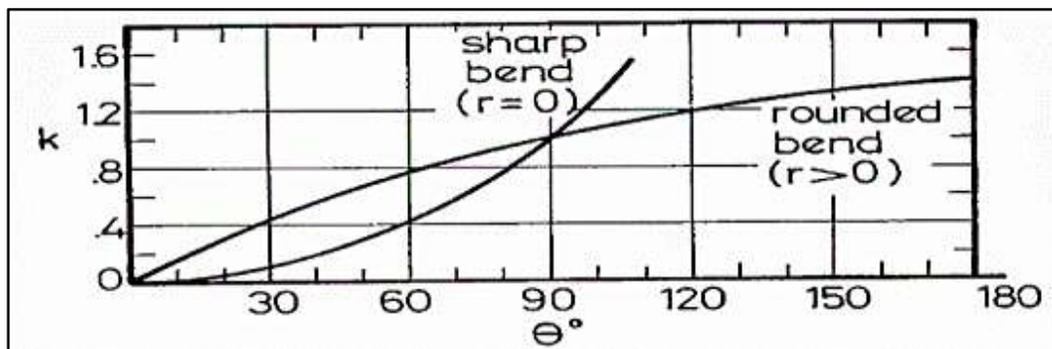
$$\Delta p = \rho \left[ \left( \underbrace{f \frac{L}{D_h}}_{\text{major}} + \underbrace{k}_{\text{minor}} \right) \frac{\bar{U}^2}{2} - g\Delta z \right] \quad \text{Ecuación 14}$$

Cada tipo de pérdida menor lleva consigo un método independiente para determinar su factor  $k$ , que normalmente implica consideraciones geométricas. El tipo más común de pérdida de choque encontrada en la ventilación auxiliar serán las curvas (en varios ángulos) y las divisiones. Para una curva de 90 grados de un conducto circular, McPherson<sup>4</sup> presentó un método gráfico para determinar la pérdida de choque, que se reproduce en la Figura 4.62.



**Figura 4.62** *Perdida de Choque Para Curva de 90° en Ducto Circular*  
Fuente: 1st Ed. Chapman & Hall, London: 1993. Figure A5.1

Para otros ángulos, primero debe obtenerse un coeficiente de pérdida de choque y aplicarse al determinado a 90 grados. El gráfico de coeficientes se muestra en la Figura 4.63. para ángulos entre 0 y 180°.



**Figura 4.63** *Coefficiente de Pérdida de Choque Para Curvas de Distintos Ángulos*  
Fuente: 1st Ed. Chapman & Hall, London: 1993. Figure A5.3)

<sup>4</sup> Malcolm J. McPherson. *Subsurface Ventilation and Environmental Engineering*, 1<sup>st</sup> Ed. Chapman & Hall, London: 1993. Figure A5.1

La ecuación que estima la pérdida de choque para cualquier ángulo además de 90° está dada por la Ecuación 15.

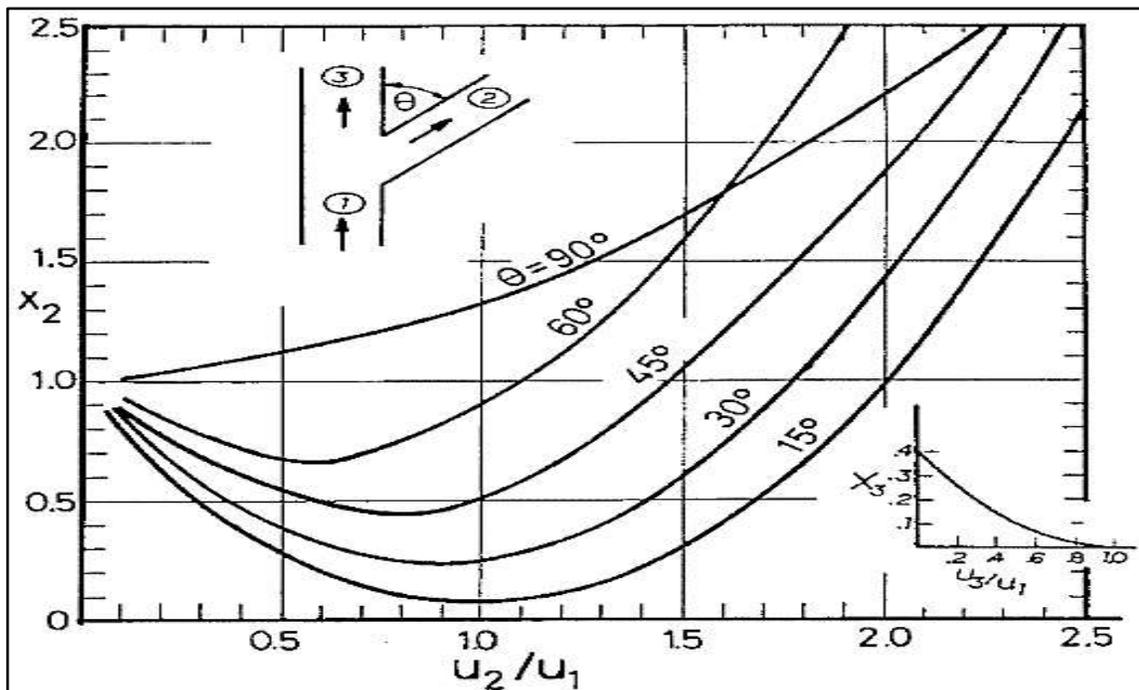
$$k_{\theta} = k \times k_{90} \quad \text{Ecuación 15}$$

Donde:

$k$  coeficiente de choque para las curvas distintas a 90 grados. Es igual a 1 a 90°

$k_{90}$  coeficiente de pérdida de choque de la Figura 4.61

Otro tipo de pérdida de carga considerada para los conductos auxiliares circulares son las uniones. El gráfico<sup>5</sup> de la figura 4.64 calcula la pérdida de choque en las dos ramas posteriores en función de la velocidad y el ángulo de unión.



**Figura 4.64** *Perdida de Carga en Uniones Para Vías Aéreas Circulares*

Fuente: 1st Ed. Chapman & Hall, London: 1993. Figure A5.4

<sup>5</sup> Malcolm J. McPherson. *Subsurface Ventilation and Environmental Engineering*, 1<sup>st</sup> Ed. Chapman & Hall, London: 1993. Figure A5.4

El factor de pérdida de choque final considerado en este estudio son las pérdidas de salida. Ocurren debido al cambio repentino en el área del ducto al encabezado. El valor estándar para la pérdida de choque es 1.

#### 4.6.2.3 Fuga de Ducto

La fuga del conducto se caracteriza por el porcentaje de flujo entregado en la cara de desarrollo en comparación con lo que el ventilador auxiliar entrega al inicio del conducto. Ocurre con frecuencia en la posición donde se unen dos secciones de ducto, o donde incurre en daños por el paso de equipos o explosiones. Hay varios métodos disponibles para cuantificar la fuga de ductos: %/100 m, coeficiente de fuga (utilizado por *National Coal Board* en el Reino Unido) y resistencia de unión<sup>6</sup>. En la presente tesis trata las fugas utilizando la primera declaración mencionada anteriormente: un porcentaje de fugas por cada 100 m de ducto (indicado como  $\xi$ ). Por lo tanto, para una tasa de ventilación exigida en la cara de desarrollo, el flujo requerido en el ventilador auxiliar debe calcularse como Ecuación 16<sup>7</sup>:

$$Q_{fan} = \frac{Q_{face}}{1 - \frac{L \times \xi}{100}}$$

**Ecuación 16**

Donde

$Q_{fan}$	flujo requerido en el ventilador	[m <sup>3</sup> /s]
$Q_{face}$	flujo entregado en la cara de desarrollo	[m <sup>3</sup> /s]
L	longitud del conducto	[m]
$\xi$	tasa de fuga por 100 m de ducto	

<sup>6</sup> Dean Millar, Michelle Levesque, and Stephen Hardcastle. "Leakage and Air Flow Resistance In Mine Auxiliary Ventilation Ducts: Effects On System Performance And Cost" *Mining Technology* 126 (2017): 11-21

<sup>7</sup> E. De Souza. "Auxiliary Ventilation Practices" Online, accessed on October 1, 2018

Algunos comentarios generales con respecto a la Ecuación 16 son válidos para cualquier geometría de ducto.

- Para una rugosidad constante del conducto, si la fuga del conducto reduce más el flujo en el ventilador, llegará a la frente de desarrollo,
- A medida que se reduce la fuga del conducto, la potencia eléctrica consumida por el ventilador auxiliar aumenta debido a las mayores velocidades del aire para cualquier nivel de rugosidad.

La cuantificación del rendimiento de la distribución del conducto se realiza mediante la variable denominada COV, o el costo de la ventilación, dado por la Ecuación 17.

$$COV = \frac{P_{electrical}}{Q_{face}}$$

**Ecuación 17**

donde

COV	costo de ventilación	[kW/(m <sup>3</sup> /s)]
P <sub>electrical</sub>	potencia eléctrica extraída por ventilador	[kW]
Q <sub>face</sub>	flujo entregado en la cara de desarrollo	[m <sup>3</sup> /s]

Por lo tanto, el COV se puede observar como un parámetro que proporciona una métrica normalizada en el sistema de ventilación auxiliar.

#### **4.6.2.4 Decreto Supremo DS-023-2017-EM aplicado a la Ventilación Auxiliar**

Dentro 023-2017-EM, anexo 38 discute de las 5 cláusulas que emiten los requisitos de flujo de aire fresco de la operación de la mina. Se incluyen especificaciones separadas para los trabajadores, el uso de la madera, el equipo diésel, las estaciones de trabajo elevadas, y fuga.

El requisito de flujo de aire para los trabajadores es dado por la Ecuación 18.

$$Q_{tr} = 4 \times N \dots [m^3/min] \quad \text{Ecuación 18}$$

donde

4 es la constante ( $m^3/min$ ) asociada con una elevación entre 1500 - 3000 m. Unidad Minera se encuentra a 1872 m sobre el nivel del mar.

N número de trabajadores.

El uso de la madera convierte el oxígeno en  $CO_2$  y  $CH_4$ . Para diluir estos humos, se requiere un flujo adicional con su fórmula dada por la Ecuación 19.

$$Q_{Ma} = T \times u \dots [m^3/min] \quad \text{Ecuación 19}$$

En el archivo suministrado por la Unidad Minera, "Balance y REQUERIMIENTO EQUIPOS JULIO.xlsx", se especifica que el uso de la madera en la mina es del 0%. Por lo tanto, la cantidad de flujo especificada anteriormente es nula.

El requerimiento de flujo para equipos diésel está dado por la Ecuación 20.

$$Q_{eq} = 3 \times HP \times \gamma \times \delta \dots [m^3/min] \quad \text{Ecuación 20}$$

donde

HP potencia efectiva del motor [hp]

$\gamma$  disponibilidad de la máquina [%]

$\delta$  factor de utilización [%]

Para mitigar el exceso de temperatura, la Ecuación 21 proporciona un margen de flujo adicional.

$$Q_{te} = V_{min} \times A \times N \dots [m^3/min] \quad \text{Ecuación 21}$$

donde

$$V_{min} \begin{cases} 0 \dots DB < 24^{\circ}C \\ 30 \dots 24^{\circ}C \leq DB < 29^{\circ}C \end{cases} \quad [m/min]$$

A      área de la sección transversal de la cara de trabajo       $[m^2]$

N      número de niveles superiores a  $23^{\circ}C$

Por lo tanto, el requisito de flujo total sería la suma de las condiciones individuales con un margen adicional para fugas, dada por la Ecuación 22.

$$Q_{total} = 1.15(Q_{tr} + Q_{eq} + Q_{te}) \dots [m^3/min] \quad \text{Ecuación 22}$$

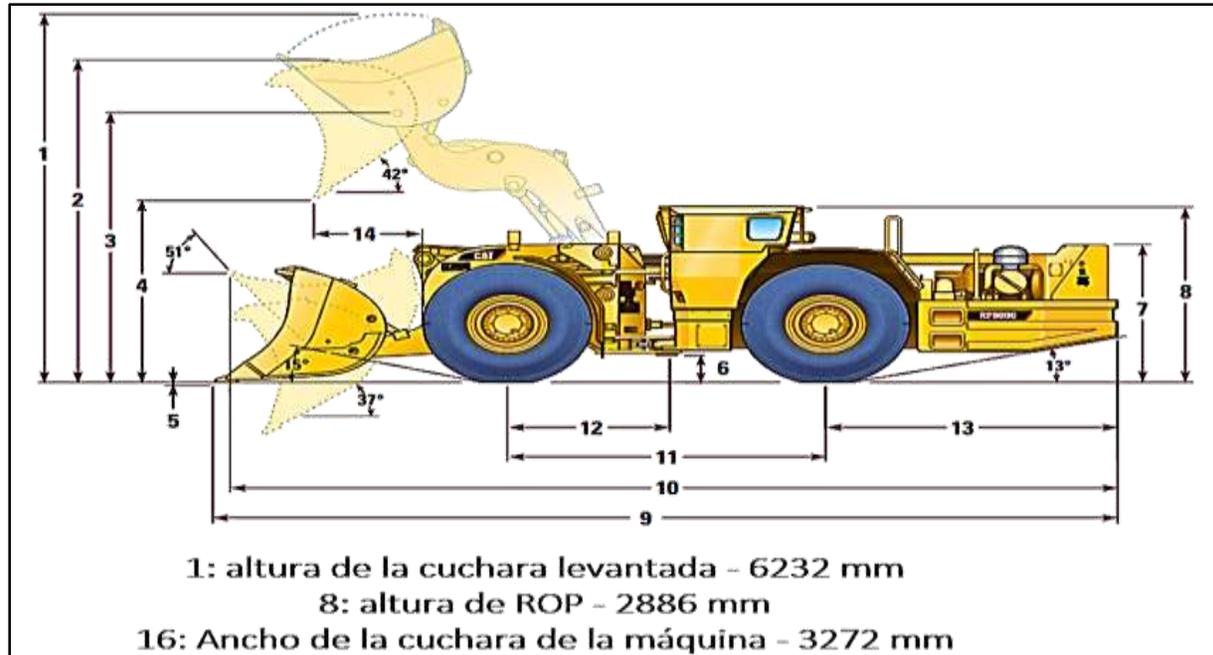
### 4.6.3 Parámetros de Entrada

La presente sección específica la información requerida para realizar el análisis de ventilación auxiliar y para llegar al tamaño máximo del ducto para la vía aérea típica en la mina.

#### 4.6.3.1 Dimensiones de Equipaje

Los datos críticos que dictan el tamaño máximo del conducto en una vía aérea serán el área de la sección transversal del equipo operativo en relación con el área de galería.

Las dimensiones de la cargadora R2900 de 17 toneladas se muestran en la Figura 4.65. La altura de la cuchara elevada de 6.2 m debe ser acomodada por zonas de carga específicas donde la altura de galería se amplía a 7 m. La parte superior de la altura de la ROPS se encuentra a 2,9 m sobre el suelo, que es menor que el camión. El ancho de la cuchara es menos importante y todas las galerías son lo suficientemente anchas para acomodarlo.



**Figura 4.65** Dimensiones de R2900 LHD

Fuente: Elaboración Propia

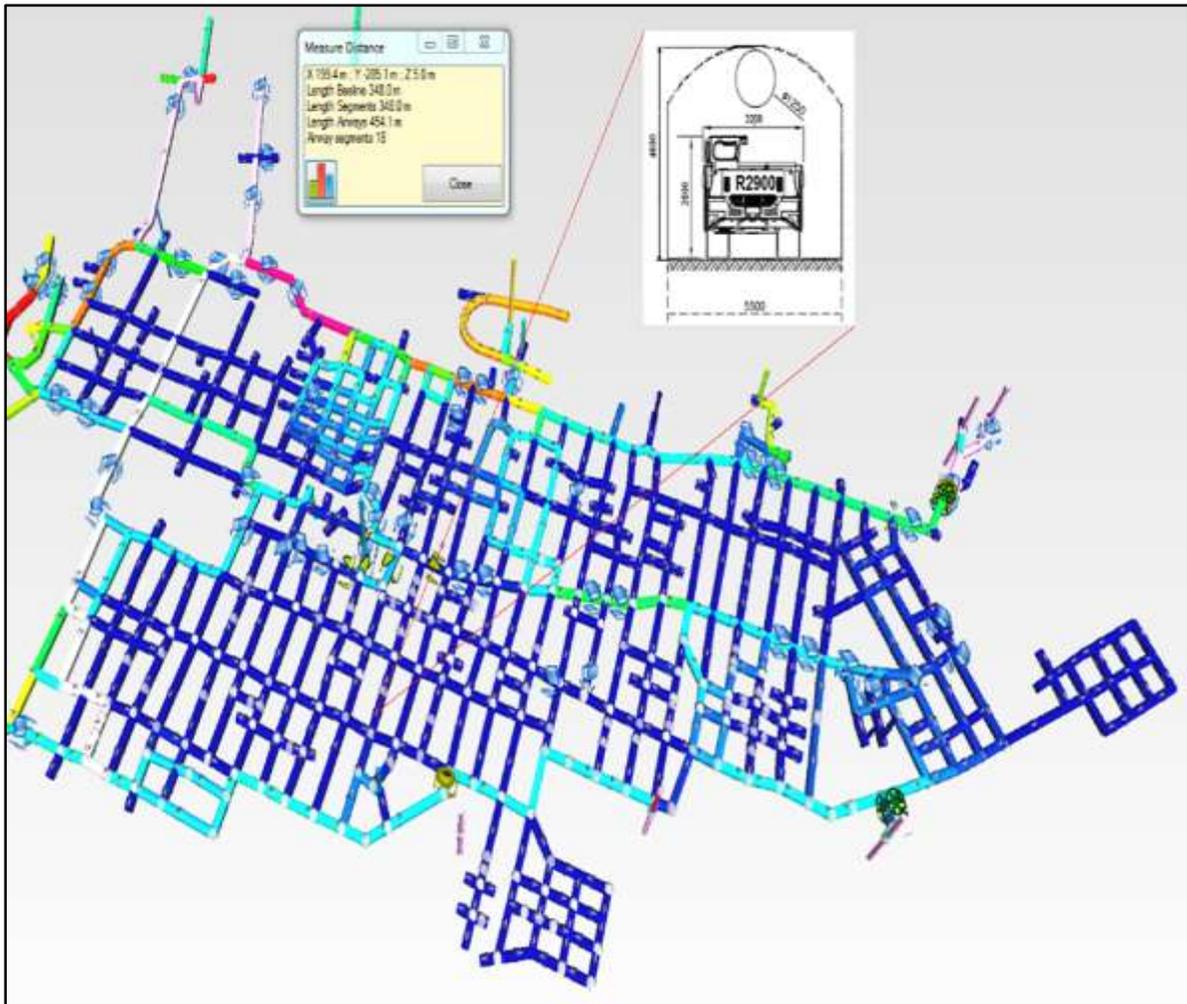
#### 4.6.3.2 Dimensiones de Galerías

Las dimensiones de galería observadas en el modelo VentSim están bastante dispersas. Sin embargo, muestrear algunas áreas muestra que las unidades de perímetro y los puntos de dibujo tienen ancho y altura como se muestra a continuación.

- Tipo de deriva: Galería típica.
- Ancho: 5.5 m
- Altura: 4,6 m

La Figura 4.66 describe un nivel de mina típico que muestra la inyección y la extracción. El área en azul oscuro son áreas de producción completamente explotada. El recuadro muestra detalles adicionales de la vía aérea y LHD a escala reducida. Hay espacio suficiente para instalar un solo conducto de 1,25 m. Se aconseja no ir a un diámetro mayor para evitar daños por un camión que pasa. En el caso de este último, se esperaría que los camiones permanezcan en las

áreas de carga designadas lejos del punto de tracción, reduciendo el riesgo. Además, se ha seleccionado un conjunto de vías aéreas desde el nivel de acceso para indicar una longitud de conducto probable. El diagrama muestra una longitud de aproximadamente 450 m.



**Figura 4.66** Frente de Trabajo de Nv 1770 con Recuadro Presentando R2900 LHD y un Ducto Simple de 1.25 m

Fuente: Elaboración Propia

### 4.6.3.3 Entradas de la Ventilación Auxiliar

Las condiciones de entrada del ducto auxiliar para análisis de la ventilación son próximas con una explicación de su utilización mostrados en la tabla 4.29.

**Tabla 4.29**

*Parámetros de Análisis de Ducto Auxiliar de Ventilación*

<i>Variable</i>	<i>Valor</i>	<i>Justificación</i>
<i>Densidad</i> <i>[kg/m<sup>3</sup>]</i>	1	Densidad del modelo a 1700 m sobre el nivel del mar.
<i>K<sub>atk</sub> [kg/m<sup>3</sup>]</i>	0.003	Valor típico de un ducto flexible. Ver McPherson, capítulo 5.
<i>L [m]</i>	150-600	Valor asumido que se basa en un diseño de nivel típico.
<i>D [m]</i>	0.75, 1.25	Basado en dimensiones de galería y LHD.
<i>Fuga [%/100m]</i>	5	Asumido por Tesista
<i>k<sub>90</sub></i>	0.7	Asumido r/D = 0.5.
<i>k<sub>θ</sub></i>	0.35	Asumido ángulo de curva de 45°.
<i># of k<sub>θ</sub></i>	1 per 150 m. Máximo de 3	Asumido por Tesista
<i>k<sub>exit</sub></i>	1	Basado en teoría.
<i>HP<sub>FMX20</sub> [HP]</i> <i>Disponibilidad</i> <i>[%]</i> <i>Factor</i> <i>utilización [%]</i>	520 61 47	Suministrado por Unidad Minera
<i>HP<sub>R2900</sub> [HP]</i> <i>Disponibilidad</i> <i>[%]</i> <i>Factor</i> <i>utilización [%]</i>	389 62 51	Suministrado por Unidad Minera
<i>Q<sub>face</sub> [m<sup>3</sup>/s]</i>	27.6	Calculado de la ecuación.
<i>η<sub>fan</sub></i> <i>η<sub>motor</sub></i>	0.7 0.95	Suministrado por Unidad Minera

Fuente: Elaboración Propia

### 4.6.4 Resultados y Discusiones

Los resultados para la presión total del ventilador, la potencia eléctrica consumida por el ventilador y el COV se presentan en esta sección. Los valores son aplicables para un sistema de

ventilación auxiliar (conducto y ventilador) instalado en una frente de trabajo para entregar 28,2 m<sup>3</sup>/s en la frente. La Tabla 4.42 muestra los resultados para la instalación de ductos simples y dobles para diámetros de 0.75 m, 1 m, y 1.25 m. En resumen, los hallazgos clave se resumen a continuación:

- El aire fresco en el ventilador aumenta con la longitud del conducto para mantener el flujo en la cara. Esto se debe a una fuga adicional en el sistema de conductos auxiliares.
- La potencia del ventilador eléctrico aumenta y disminuye exponencialmente con la longitud del conducto y el diámetro del conducto, respectivamente.
- COV disminuye con un aumento en el diámetro del conducto. Esto significa que sería más económico operar para cualquier aspereza y flujo del conducto dado a través del ventilador. Usar un par de ductos de 1 m sería tres veces más barato de operar que un solo ducto de 1.25m.

**Tabla 4.30**

*Presión de ventilador, consumo eléctrico y COV para arreglos de ducto simples y paralelo ( $Q_{face} = 28.2$  m<sup>3</sup>/s)*

Largo (m)	$Q_{fan}$ (m <sup>3</sup> /s)	$\Delta P$ (kPa)			$P_{electrical}$ (kW)			COV (kW/m <sup>3</sup> /s)			
		All $\Phi$	$\Phi = 1.25m$	Twin		$\Phi = 1.25m$	Twin		$\Phi = 1.25m$	Twin	
				$\Phi = 0.75m$	$\Phi = 1m$		$\Phi = 0.75m$	$\Phi = 1m$		$\Phi = 0.75m$	$\Phi = 1m$
150	30.5	1.1	2.9	0.75	48	66	17	1.7	4.7	0.6	
300	33.1	2	5.8	1.4	99	143	36	3.5	10.2	1.3	
450	36.3	3.2	9.3	2.3	173	254	63	6.2	18.1	2.2	
600	40.2	4.6	13.6	3.3	275	412	101	9.8	29.3	3.6	

Fuente: Elaboración Propia

**Nota:** el flujo de suministro del ventilador para los conductos dobles sería la mitad del valor designado en la tabla.

## CONCLUSIONES

Se determinó que el mejoramiento de la gestión de ventilación en mina tiene influencia significativa en las condiciones termo-ambientales en las minas subterráneas, porque se realizó un reajuste de la cobertura de aire llegando a un 109%, permitiendo un ingreso de aire 2,540,000 cfm. Para el año 2024.

Mediante la metodología de diseño, se garantizó una infraestructura de ventilación flexible a la operación, teniendo en cuenta que esta mina tiene un método de minado masivo.

El software Vetsim, modeló la unidad minera obteniendo una calibración del 90%, donde se generó diferentes escenarios de ventilación por cada área de explotación, adicionalmente se efectivizó el plan contra incendios generando rutas de escape como medidas de prevención.

Se optimizó el diámetro de las chimeneas propuestas, el consumo de energía, la cantidad de ventiladores presentes, y las dimensiones óptimas para las galerías y rampas mediante la metodología de valuación.

Se realizó un análisis de ventilación auxiliar de una galería de tamaño típico en Cerro Lindo con dimensiones de 5.5 m (ancho) por 4.6 m (alto). El aire fresco requerido en cada partida se determinó a partir del decreto minero peruano, DS-023-2017-EM, para un camión y LHD que operan simultáneamente. Se determinó que esta cantidad era de 28.2 m<sup>3</sup>/s, entregada en la cara. Las buenas prácticas de ventilación indican que la tasa de ventilación debe verificarse evaluando su capacidad para eliminar otras formas de contaminantes como los gases, el calor, la ppm y el polvo. Desafortunadamente, estos estándares no están fácilmente disponibles en el decreto.

Se determinó que para la longitud del ducto y la cantidad de aire fresco se requería que un sistema de ductos gemelos de 1 m de diámetro fuera más adecuado que un solo ducto de 1.25 m de diámetro.

Se ha revisado el cálculo de la demanda de aire fresco proporcionado por la Unidad Minera, y observamos que la tasa de utilización del equipo proporcionada es inferior al parámetro estándar de la industria. Posteriormente de una inspección adicional, la tasa de utilización es de hecho más grande que la indicada en el plan de la Unidad Minera, esto significa que la mina no está "demasiado ventilada". Se evaluó la cobertura de aire fresco utilizando tasas de utilización estándar para estar cerca del 100%, en lugar del 120% evaluado inicialmente.

El modelo utilizado en la investigación es considerado preciso en general para fines de planificación a largo plazo, pero se ha detectado un problema específico relacionado con la representación de la presión del ventilador en el modelo de la Unidad Minera. La curva de los ventiladores en el modelo ha sido ajustada utilizando mediciones reales, pero la tesis advierte que no se deben realizar cambios adicionales en la curva de los ventiladores, posiblemente para evitar distorsiones o errores en los resultados del modelo. Se precisa reinicializar las curvas de los ventiladores y las curvas del fabricante, y hacer el ajuste de la resistencia para los ventiladores del modelo.

Se demostró a partir del análisis financiero que un sistema de chimeneas doble no se justificaría debido a los bajos caudales. Por lo tanto, es mejor que la Unidad Minera desarrolle una chimenea de inyección y extracción para las nuevas frentes de exploración.

El tamaño de la infraestructura de ventilación, específicamente para los nuevos raises de inyección y extracción propuestos cerca del OB9. En el modelo de Ventsim provisto, solo se mostraron 250 kcfm en estos raises, y se demuestra en el informe que, para tal cantidad de flujo, solo se necesitaría 1 raise de inyección y extracción.

## RECOMENDACIONES

Después de completar la simulación, es necesario examinar y evaluar la dispersión del humo y los gases para determinar las áreas de trabajo afectadas, la cantidad de personas expuestas, la disponibilidad de refugios mineros y las rutas de evacuación libres de humo y gases.

Realizar el taponeo permanente o temporal de las labores que no están en actividad, a fin de prohibir el ingreso de personal a labores expuestas con gases tóxicos, los cuales deben estar señalizadas.

Mantener actualizada los planos de mapeo de ventilación, el unifilar para poder actualizar diariamente el software de ventilación.

En el software debe definirse los circuitos principales, secundarios y auxiliares de ventilación.

Reducir la resistencia al flujo en las galerías por donde transita el aire, determinando el área más económica en las galerías para el volumen que viaja por ellas, evitando la acumulación de material en las arterias principales, secundarios y auxiliares de ventilación.

Realizar el mantenimiento de los ventiladores instalados en la mina subterránea con la finalidad de verificar el balaceo, algunas sobre cargas o averías en el motor.

Calcular la resistencia de la mina con la finalidad de realizar la comparación con la curva del ventilador en operación.

En el proceso de modelado de incendios, es importante identificar y resaltar las galerías mineras subterráneas que conectan con la superficie y que podrían utilizarse como vías de evacuación para el personal en caso de una emergencia de incendio dentro de la mina.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arias Gonzáles, J. L., & Covinos Gallardo, M. (2021). *Diseño y metodología de la investigación*.  
file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Arias-Covinos-Dise%C3%B1o\_y\_metodologia\_de\_la\_investigacion%20(2).pdf
- Cáceres Navarro, J. (s.f.). *Optimización de costos de ventilación mecánica en el diseño del sistema de ventilación del nivel 2270 Unidad Minera San Andrés-MARSA*.  
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/14867>
- Camargo, F. J. E., & Pardo, M. C. S. (2022). La seguridad en minería de carbón subterránea “un encuentro de saberes y experiencias”. *Cemi Revista Centro Minero*, 3.  
<https://revistas.sena.edu.co/index.php/CEMI/issue/view/493/403>
- Córdoba, N. S., Astorquia, L. E., Alegrechy, A. H., Díaz Ferrari, A., & Luques, V. (2023). *Metodología de la investigación I*.  
<https://rephip.unr.edu.ar/server/api/core/bitstreams/20a602cf-3b46-4b56-a3def52ab0e0fe7c/content>
- Díaz Flores, R. (2019). *Optimización del sistema de ventilación como un método de control de la calidad del aire en La Mina San Rafael de la Región Puno*.  
<https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3266629>
- García, A. (2019). Gestión en ventilación minera. *Revista de Minería y Seguridad*, 8(2), 40-55.
- García, L. (2020). Condiciones termo ambientales. *Revista de Salud Ocupacional y Medio Ambiente*, 28(2), 45-60.
- Gómez, R. (2019). Normativa y regulación de ventilación en mina subterránea en el Perú. *Revista de Minería y Regulación*, 15(2), 45-60.

- Gómez de la Torre Hernández, A. (2022). *Sistema de ventilación para optimizar las operaciones en la integración de dos unidades de producción en una empresa minera La Libertad 2021*.
- González, A. (2019). *Ventilación minera*. Ciudad: Editorial Minera.
- Haitham, O., & Obaid, M. (2021). Una revisión del sistema de ventilación de la mina subterránea. *Revista de Minas Metales y Combustibles*, 69(2), 62-70.
- Hernández, R. (2020). Normativa y regulación de las condiciones termo ambientales. *Revista de Salud Ocupacional y Medio Ambiente*, 30(1), 45-60.
- López, A. (2020). Riesgos asociados a la falta de ventilación adecuada. *Revista de Seguridad y Salud Laboral*, 25(2), 76-89.
- Maleki, S., Sotoudeh, F., & Sereshki, F. (2018). Aplicación de VENTSIM 3D y programación matemática para optimizar la red de ventilación de una mina subterránea: un caso de estudio.
- Maleki, S., Sotoudeh, F., & Sereshki, F. (2018). Application of VENTSIM 3D and mathematical programming to optimize underground mine ventilation network: A case study. *Journal of Mining and Environment*, 9(3), 741-752.
- Mamani Condori, R. (2019). *Estudio y diseño del sistema de ventilación de las zonas Yurika y Pablo Hochschild mining-Unidad Operativa Pallancata*.
- Martínez, J. (2020). Diseño del sistema de ventilación. *Revista de Ingeniería Industrial*, 35(1), 45-60.
- Norma Técnica de Calidad del Aire (Resolución Ministerial No 432-2011-MINSA).
- Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería (Decreto Supremo No 024-2016-EM).  
Perú.
- Rojas Santiago, J. M., & Campos Vásquez, J. E. (2020). Estudio del sistema de ventilación de una mina subterránea en Colombia.

- Sepúlveda, D. (2019). *Beneficios de la implementación de sistemas integrales de control de la ventilación*. Santiago, Chile: SIMIN.
- Sánchez, M. (2020). Medición y monitoreo de la ventilación. *Revista de Salud Ocupacional*, 18(2), 75-88.
- Vargas Lloclla, V. (2020). *Propuesta técnica económica de mejora para el diseño del sistema de ventilación principal de una operación minera subterránea-Cobriza 2020*.
- Valarezo Blacio, M. P. (2020). *Diseño del sistema de ventilación en la concesión minera "Cebral" y diseño del sistema de desagüe en la concesión minera "R-Nivel" Zaruma-El Oro* (Tesis de licenciatura, Universidad del Azuay).
- Zhang, H. (2019). *A framework to develop a hybrid methodology for modeling of diesel particulate matter concentration in underground mine ventilation systems* (Tesis doctoral, Laurentian University of Sudbury).

# **ANEXOS**

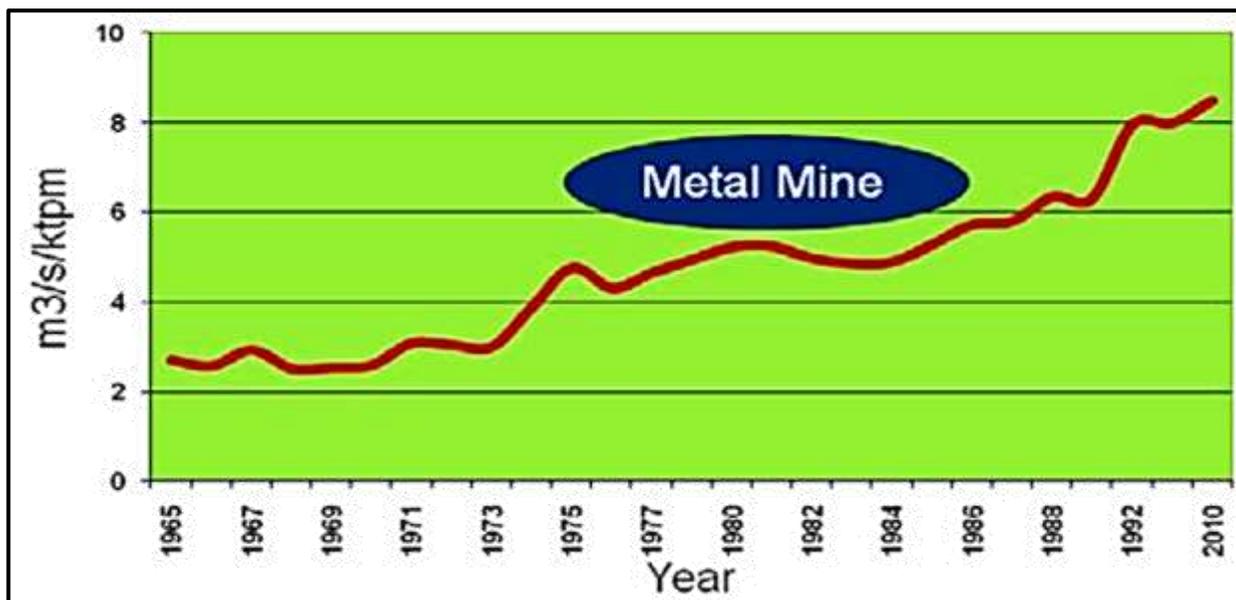
## ANEXO 1

### MATRIZ DE CONSISTENCIA

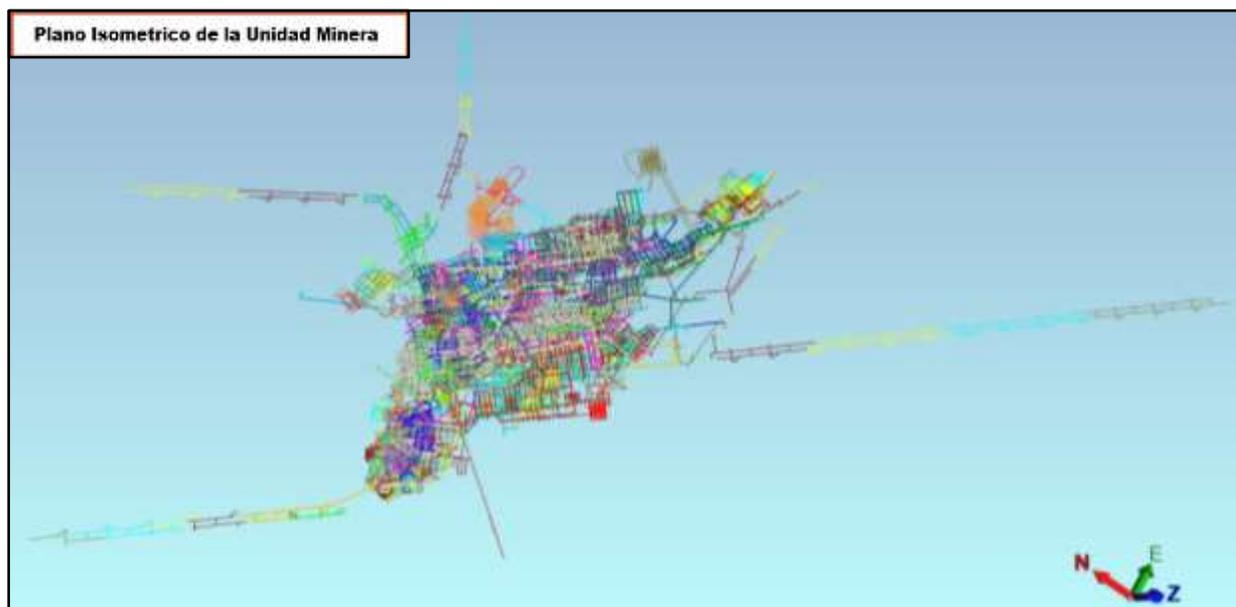
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	INDICADORES	DISEÑO METODOLÓGICO
<p><b>Problema General</b> ¿Cómo influye el mejoramiento de la gestión de ventilación de mina en las condiciones Termo-Ambientales en minas subterráneas?</p> <p><b>Problema Específico</b> ¿Cómo influye el mejoramiento de la gestión de ventilación de mina mediante la metodología de diseño en las condiciones Termo-ambientales en minas subterráneas? ¿Cómo influye el mejoramiento de la gestión de ventilación de mina mediante la metodología del software Ventsim en la mejora de las condiciones termo-ambientales en minas subterráneas? ¿Cómo influye el mejoramiento de la gestión de ventilación de mina mediante la metodología de valuación en la mejora de las condiciones Termo-ambientales en minas subterráneas?</p>	<p><b>Objetivo General</b> Determinar la influencia del Mejoramiento de la Gestión de Ventilación en las condiciones Termo-Ambientales en una mina Subterránea.</p> <p><b>Objetivo Específico</b> -Determinar la influencia en el mejoramiento de la gestión de ventilación de mina mediante la metodología de diseño en las condiciones termo-ambientales en minas subterráneas. -Determinar la influencia en el mejoramiento de la gestión de ventilación de mina mediante la metodología del software Ventsim en la mejora de las condiciones termo-ambientales en minas subterráneas. -Determinar la influencia en el mejoramiento de la gestión de ventilación de mina mediante la metodología de valuación en la mejora de las condiciones termo-ambientales en minas subterráneas.</p>	<p><b>Hipótesis General</b> <b>H:</b> El mejoramiento de la gestión de ventilación en mina tiene influencia significativa en las condiciones termo-ambientales en las minas subterráneas.</p> <p><b>Hipótesis Específico</b> <b>H1:</b> El mejoramiento de la gestión de ventilación en mina tiene influencia significativa mediante la metodología de diseño en las condiciones termo-ambientales en las minas subterráneas. <b>H2:</b> El mejoramiento de la gestión de ventilación en mina tiene influencia significativa mediante la metodología del software Ventsim en las condiciones termo-ambientales en las minas subterráneas. <b>H3:</b> El mejoramiento de la gestión de ventilación en mina tiene influencia significativa mediante la metodología de valuación en las condiciones termo-ambientales en las minas subterráneas.</p>	<p><b>Variable independiente: X</b> X1- Mejoramiento de la Gestión de Ventilación.</p> <p><b>Variable dependiente: Y</b> Y1: Condiciones Termo-Ambientales en minas subterráneas.</p>	<p><b>Indicadores de X:</b> -Número de ventiladores. -Capacidad de los ventiladores instalados. -Velocidad de flujo de aire. -Porcentaje de cobertura de aire. -Sección de las labores mineras. -Calibración del software. -Experiencia y capacitación del personal. -Ahorro de tiempo y recursos. -Capacidad de simulación de diversos escenarios. -Precisión. -Fiabilidad. -Costo y complejidad. -Cobertura de requerimiento de aire.</p> <p><b>Indicadores de Y:</b> -Temperatura media del aire. -Temperatura máxima y mínima del aire. -Variabilidad de la temperatura -Humedad relativa media -Humedad relativa máxima y mínima en la mina. -Concentración máxima y mínima de gases tóxicos en la mina. -Velocidad máxima y mínima del aire. -Variabilidad de la velocidad del aire.</p>	<p><b>Tipo de Investigación:</b> Aplicativo</p> <p><b>Nivel de Investigación:</b> Explicativo.</p> <p><b>Diseño de la Investigación:</b> Experimental</p> <p><b>Población:</b> sistema de Ventilación y las condiciones termo-ambientales de la minera en estudio.</p> <p><b>Tipo de Muestreo:</b> Aleatorio simple</p>

**ANEXO 2**

B BELLE. (2012). A CASE FOR REVISION OF TIME-HONOURED MINE VENTILATION DESIGN PARAMETERS-MAIN AIRWAYS. AAMC, AUSTRALIA.

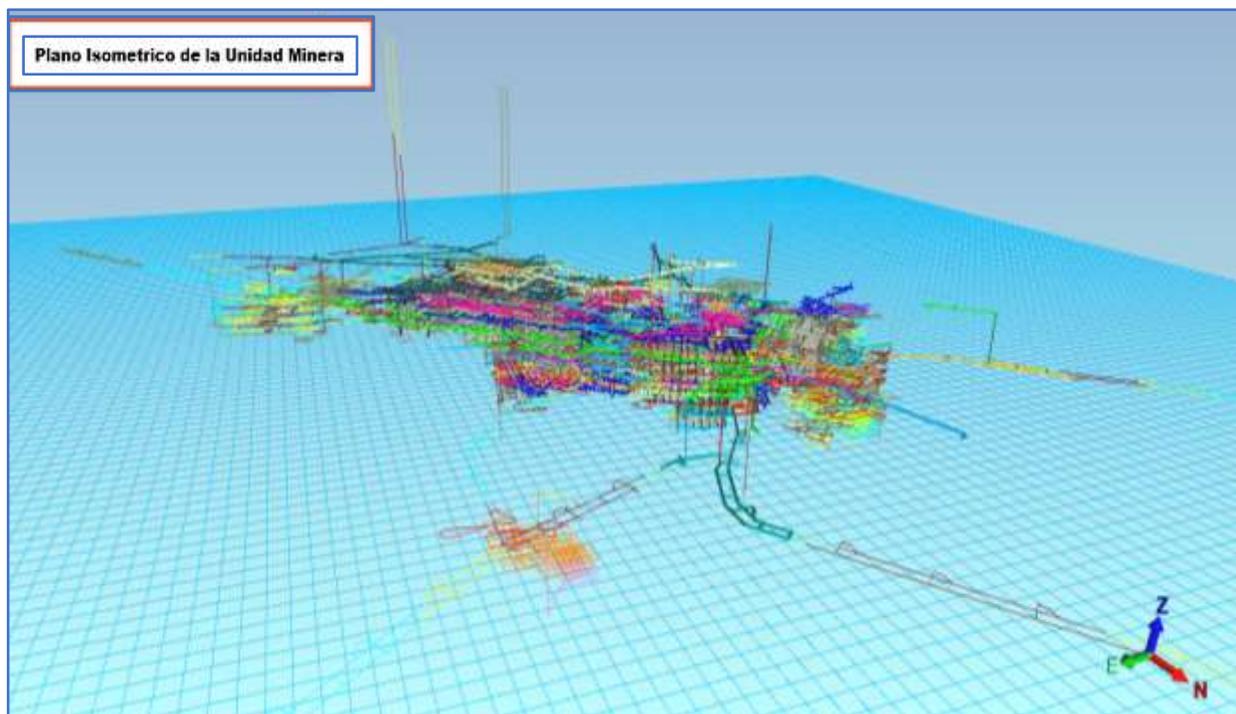
**ANEXO 3**

PLANO ISOMETRICO DE LA UNIDAD



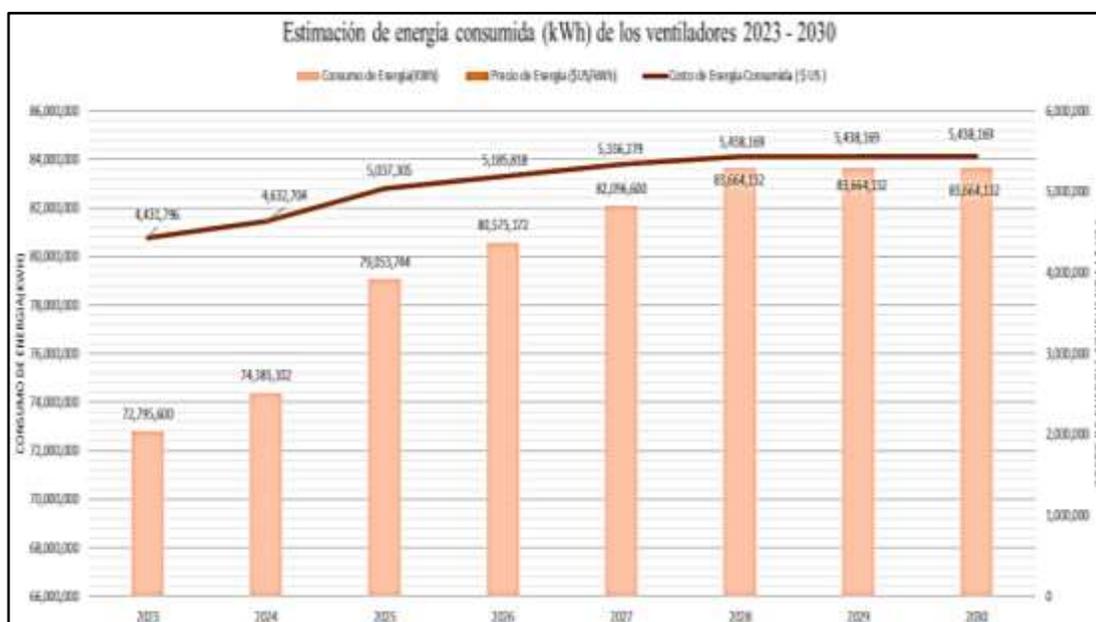
### ANEXO 4

#### PLANO ISOMETRICO DE LA UNIDAD



### ANEXO 5

#### ESTIMACIÓN DE ENERGÍA CONSUMIDA



### ANEXO 6

#### LETRERO "PROHIBIDO EL INGRESO "



### ANEXO 7

#### INSPECCION DE AREA DE TRABAJO



## ANEXO 8



**Ley N°30035**  
Respositorio Nacional Digital



**UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE  
INGENIERIA**

**FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN  
ELECTRÓNICA EN EL PORTAL DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL  
DE LA UNI**

**1. DATOS PERSONALES**

Apellidos y nombres: Manuel Marcial Muñoz Bernardo

D.N.I: 07516526

Teléfono casa: - celular: 941 384 315

Correos electrónicos: munozbernardomanuel@gmail.com

**2. DATOS ACADÉMICOS**

Grado académico: Bachiller

Mención: Ingeniería de Minas

**3. DATOS DE LA TESIS**

Título:

“Mejoramiento de la Gestión de Ventilación y las Condiciones Termo-Ambientales en Minas Subterráneas”.

Año de publicación: 2024

A través del presente, autorizo a la Biblioteca Central de la Universidad Nacional de Ingeniería, la publicación electrónica a texto completo en el Repositorio Institucional, el citado título.

Firma

Fecha de recepción: 31/07/2024

## ANEXO 9 CURRICULUM VITAE

### M.Sc. MANUEL MARCIAL MUÑOZ BERNARDO

Mz: E; Lt: 74; Urb.: "EL CUADRO"  
 Chaclacayo – Lima – Perú  
 DNI: 07516526  
 47 años  
 Casado  
 Licencia de Conducir: **A -1 N07516526**  
**CIP: 100992 (Habilitado)**  
 Cel: 01-941384315  
 e-mail: munozbernardomanuel@gmail.com  
 manuel.munoz.b@uni.pe



#### ❖ RESUMEN FUNCIONAL

Magister en Gestión Minera, de la FIGMM de la Universidad Nacional de Ingeniería **EXPERTO EN INFRAESTRUCTURA MINERA**, con 23 años de experiencia en el sector minero. Actualmente **Jefe Corporativo de Minería en la Empresa Nexa Resources** responsable de la Gestión de la Ventilación, Servicios, Energía e infraestructura de las Unidades Mineras Vazante (Bra), Morro Agudo (Bra), Aripuana (Bra), Cerro Lindo (Per) y Complejo Pasco (per) – Nexa Resources S.A.A. Como principal logro es la estandarización de la Gestión de Ventilación, Servicios Auxiliares e Infraestructura, gestionando los los KPIs, realizando los diseños a corto, mediano y largo plazo brindando flexibilidad a la operación Minera para que pueda migrar a otro método de explotación sin generar restricciones por ventilación y el logro más importante automatización del sistema de ventilación generando valor económico y productivo en mina. Capacitado por **AOTS en Osaka - Japón**, en el uso de las herramientas para gestión de la calidad, el cual es aplicado con mucho éxito, obteniendo como resultado soluciones de problemas utilizando las siete herramientas. Nombrado **Green Belt** en la compañía Nexa Resources; capacitado para la generación de valor en las áreas de costos, calidad, planeamiento estratégico, gestión desarrollando proyectos de optimización de costos en las actividades mineras realizando proyectos que generaron ahorros sustanciales en los costos operativos.

Experiencia profesional en minería subterránea y convencional, gestionando recursos y realizando diseño del sistema de ventilación y planeamiento utilizando como herramienta el Software Ventsim, Microsoft Project y Deswik para agilizar la toma de decisiones en la operación mina, manejo de capex y cumplimiento de DS 024 con modificatoria.

#### ❖ EXPERIENCIA PROFESIONAL

<b>AIR MINE INGENIERIA S.A.A. / Consultoría:</b> <b>GERENTE GENERAL</b>	(Ene. 24 - Ahora)
<b>COMPAÑÍA MINERA NEXA RESOURCES S.A.A.:</b> <b>JEFE CORPORATIVO DE MINERIA</b>	(Ene. 14- Ahora)
<b>RELIANT DRILLING LTD - ZAMBIA:</b> <b>Operation Manager</b>	(Ago. 12- Dic 13)
<b>COMPAÑÍA MINERA MILPO S.A.A.:</b> <b>JEFE DE VENTILACION</b>	(Set. 09 - Jul. 12)
<b>VOLCAN COMPAÑÍA MINERA S.A.A.:</b> <b>Asistente de Jefe de Zona I</b>	(Oct. 08 – Ago. 09)
<b>VOLCAN COMPAÑÍA MINERA S.A.A.:</b> <b>Jefe de Ventilación</b>	(Feb 03 – Set 08)
<b>VOLCAN COMPAÑÍA MINERA S.A.A.:</b> <b>Jefe de Servicios Mina</b>	(Dic 00 - Ene 03)

#### ❖ ESTUDIO

- **Universidad Nacional de Ingeniería – Titulado** (Ago 94 - Ago 00)
- **Universidad Nacional de Ingeniería – Post Grado** (Mar 2020 – Actual)
- **Escuela de Post Grado Gerens-Diplomado** (Ago 2016 – Mar 2017)
- **Six sigma – Green Belt** (Oct - 2016)

#### ❖ ESTUDIOS ADICIONALES

- **Idioma:**  
Inglés – **NIVEL AVANZADO**, Instituto Cultural Peruano Norteamericano  
(Hablado, leído, escrito)

**Portugués – NIVEL AVANZADO**  
(Hablado, leído, escrito)

➤ **Habilidades:**

- **Diseño de Sistemas de Ventilación:** Experiencia en el diseño y configuración de sistemas de ventilación eficientes para minas subterráneas.
- **Análisis de Flujo de Aire:** Competencia en el uso de software de simulación para analizar y optimizar el flujo de aire en minas.
- **Manejo de Equipos y Tecnología:** Conocimiento avanzado en la selección y operación de ventiladores y equipos de monitoreo.
- **Gestión de Proyectos:** Habilidad en la planificación, ejecución y supervisión de proyectos de ventilación subterránea.
- **Seguridad y Normativas:** Familiaridad con las normativas de seguridad y medioambientales aplicables a la ventilación en minas subterráneas.
- **Lectura Rápida** – Lector Profesional alcanzando 3000 palabras / minuto, con una comprensión del 100%.

➤ **Computación e Informática:**

- Windows XP, Ms Office XP (word, excel, power point), Autocad 2016 e Internet

➤ **SOFTWARE:**

- Mine Sight – Intermedio
- Ventsim Premium 3D
- Mini Tab 17
- Microsoft Project

❖ **EVENTOS PARTICIPADOS Y ASISTIDOS**

- Expositor "GESTION DE LA VENTILACION MINERA" – Mar 2024 – Airmine SAC
- Capacitación en "INGENIERÍA DE VENTILACIÓN CON EL USO DEL SOFTWARE VENTSIM DESINGTM 5.4" – Set 2022 – Noova
- Expositor "II SIMPOSIO INTERNACIONAL DE VENTILACION DE MINAS DE SUDAMERICA 2021" – Perú
- Participación "I SIMPOSIO INTERNACIONAL DE VENTILACION DE MINAS DE SUDAMERICA 2020" – Chile.
- Expositor "VENTILACIÓN MINERA EN LA UNIDAD MINERA CERRO LINDO PRESENTE Y DESAFÍO AL FUTURO" – IIMP 2020
- Autor de "Estabilización del Macizo rocoso con inyección de resina strata" - 2020
- Capacitación en Ventsim Premium – 2017 – Nova 7
- Capacitación en Ventilación – Planta de Ventiladores Zitron – Chile – Noviembre 2015
- Capacitación de Ventiladores Planta de ventiladores Howden – Brasil- 2014
- Six Sigma – Green Belt – Compañía Minera Milpo – Octubre 2014
- Capacitación en Ventsim Premium 3D – Octubre 2014
- Programa de Calidad para América Latina – Osaka –JAPON – Julio 2004

❖ **REFERENCIAS PERSONALES**

- Mario O. Guerra Aris  
Gerente Técnico y de Proyectos Cia Minera Caraveli  
Email: mguerra@cmc.com.pe  
Cel: +51 975544572
- Miguel Paucar  
Superintendente de Ingeniería y Planeamiento Southern Peaks Mining  
Email: Miguel.paucar@spm.pm  
Miguel.paucar@spm.pe  
Cel: +51995855566
- Miguel Vichez Lazo  
Jefe de Proyectos Minsur  
Cel: +051987739240
- Ing. Carmen Matos  
Profesora Nombrada en la Universidad Nacional de Ingeniería.  
Email: carmatos@uni.edu.pe  
Cel: 999859535

## M.Sc. MANUEL MARCIAL MUÑOZ BERNARDO

Mz: E; Lt: 74; Urb: "EL CUADRO".  
 Chaclacayo - Lima - Peru  
 DNI: 07516526  
 47 years old  
 Married  
 Driver's License: A -1 N07516526  
 CIP: 100992 (Qualified)  
 Cell: 01-941384315  
 e-mail: munozbernardomanuel@gmail.com  
 manuel.munoz.b@uni.pe



### SUMMARY FUNCTIONAL

Master in Mining Management, from FIGMM, Universidad Nacional de Ingeniería **EXPERT IN MINING INFRASTRUCTURE**, with 23 years of experience in the mining sector. Currently Corporate Head of Mining in the Company Nexa Resources responsible for the Management of Ventilation, Services, Energy and infrastructure of the Mining Units Vazante (Bra), Morro Agudo (Bra), Aripuana (Bra), Cerro Lindo (Per) and Complejo Pasco (per) - Nexa Resources SAAA. As main achievement is the standardization of the Ventilation Management, Auxiliary Services and Infrastructure, managing the KPIs, making the designs in the short, medium and long term providing flexibility to the mining operation so that it can migrate to another method of exploitation without generating restrictions for ventilation and the most important achievement is the automation of the ventilation system generating economic and productive value in the mine.

Trained by AOTS in Osaka - Japan, in the use of tools for quality management, which is applied with great success, resulting in solutions to problems using the seven tools. Appointed Green Belt in the company Nexa Resources; trained for the generation of value in the areas of costs, quality, strategic planning, management, developing cost optimization projects in mining activities, carrying out projects that generated substantial savings in operating costs.

Professional experience in subway mining in trackless and conventional mining, managing resources and performing ventilation system design and planning using as a tool Ventsim Software, Microsoft Project and Deswik to streamline decision making in mine operation, capex management and compliance with DS 024 as amended.

### PROFESSIONAL EXPERIENCE

<b>AIR MINE INGENIERIA S.A.A. / Consulting:</b> <b>GENERAL MANAGER</b>	<b>(Jan. 24 - Now)</b>
<b>COMPAÑÍA MINERA NEXA RESOURCES S.A.A.:</b> <b>CORPORATE HEAD OF MINING</b>	<b>(Jan. 14- Now)</b>
<b>RELIANT DRILLING LTD - ZAMBIA:</b> <b>Operation Manager</b>	<b>(Aug. 12- Dec 13)</b>
<b>COMPAÑÍA MINERA MILPO S.A.A.:</b> <b>VENTILATION MANAGER</b>	<b>(Sep. 09 - Jul. 12)</b>
<b>VOLCAN COMPAÑÍA MINERA S.A.A.:</b> <b>Assistant Zone Manager I</b>	<b>(Oct. 08 - Aug. 09)</b>
<b>VOLCAN COMPAÑÍA MINERA S.A.A.:</b> <b>Ventilation Chief</b>	<b>(Feb 03 - Sep 08)</b>
<b>VOLCAN COMPAÑÍA MINERA S.A.A.:</b> <b>Chief of Mine Services</b>	<b>(Dec 00 - Jan 03)</b>
❖ <b><u>STUDIO</u></b>	
• Universidad Nacional de Ingeniería - Graduate	<b>(Aug 94 - Aug 00)</b>
• Universidad Nacional de Ingeniería - Post Graduate	<b>(Mar 2020 - Present)</b>
• Post Graduate School Gerens-Diplomado	<b>(Aug 2016 - Mar 2017)</b>
• Six sigma - Green Belt	<b>(Oct - 2016)</b>

### ❖ ADDITIONAL STUDIES

*Language:*

*English - ADVANCED LEVEL, Peruvian North American Cultural Institute.  
 (Spoken, read, written)*

**Portuguese - ADVANCED LEVEL**  
(Spoken, read, written)

➤ **Skills:**

- **Ventilation Systems Design:** Experience in the design and configuration of efficient ventilation systems for subway mines.
- **Airflow Analysis:** Proficiency in the use of simulation software to analyze and optimize airflow in mines.
- **Equipment and Technology Management:** Advanced knowledge in the selection and operation of fans and monitoring equipment.
- **Project Management:** Skill in the planning, execution and supervision of subway ventilation projects.
- **Safety and Regulations:** Familiarity with safety and environmental regulations applicable to subway mine ventilation.
- **Speed Reading** - Professional reader reaching 3000 words / minute, with 100% comprehension.

➤ **Computers and Information Technology:**

- Windows XP, Ms Office XP (word, excel, power point), Autocad 2016 e Internet

➤ **SOFTWARE:**

- Mine Sight – Intermedio
- Ventsim Premium 3D
- Mini Tab 17
- Microsoft Project

❖ **EVENTS ATTENDED AND PARTICIPATED**

- Exhibitor "MINING VENTILATION MANAGEMENT" - Mar 2024 - Airmine SAC
- Training on "VENTILATION ENGINEERING WITH THE USE OF VENTSIM DESINGTM 5.4 SOFTWARE" - Set 2022 - Noova
- Exhibitor "II INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MINE VENTILATION IN SOUTH AMERICA 2021" - Peru
- Participation "'I INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MINE VENTILATION IN SOUTH AMERICA 2020" - Chile.
- Exhibitor "MINING VENTILATION AT CERRO LINDO MINING UNIT PRESENT AND CHALLENGE FOR THE FUTURE" - IIMP 2020.
- Author of "Stabilization of the Rock Massif with strata resin injection" - 2020
- Ventsim Premium Training - 2017 - Nova 7
- Ventilation Training - Zitron Ventilator Plant - Chile - November 2015
- Ventilation Training - Howden Fan Plant - Brazil- 2014
- Six Sigma - Green Belt - Milpo Mining Company - October 2014
- Ventsim Premium 3D Training - October 2014
- Quality Program for Latin America - Osaka -JAPAN - July 2004

❖ **PERSONAL REFERENCES**

- Mario O. Guerra Aris  
Gerente Tecnico y de Proyectos Cia Minera Caraveli  
Email: mguerra@cmc.com.pe  
Cel: +51 975544572
- Miguel Paucar  
Superintendente de Ingenierira y Planeamiento Southern Peaks Mining  
Email: Miguel.paucar@spm.pm  
Miguel.paucar@spm.pe  
Cel: +51995855566
- Miguel Vichez Lazo  
Jefe de Proyectos Minsur  
Cel: +051987739240
- Ing. Carmen Matos  
Profesora Nombrada en la Universidad Nacional de Ingenieria.  
Email: carmatos@uni.edu.pe  
Cel: 999859535