

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA CHIMENEA – 017, PARA MEJORAR LA VENTILACIÓN EN LA RAMPA 440 DE LA COMPAÑÍA MACDESA – AREQUIPA

PRESENTADO POR:

BACH. JONATHAN SUVIZARRETA ESPINOZA

**PARA OPTAR AL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO DE MINAS**

ASESOR:

Mgt. MIGUEL VERA MIRANDA

CUSCO-PERU

2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

VICE RECTORADO DE INVESTIGACIÓN

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro. CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe asesor del informe técnico titulado: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA CHIMENEA – 017, PARA MEJORAR LA VENTILACIÓN EN LA RAMPA 440 DE LA COMPAÑÍA MACDESA – AREQUIPA”**

Presentado por **Jonathan Suvizarreta Espinoza**, con DNI **74283169** y código universitario Nro. **120271** para optar al Título Profesional de: **INGENIERO DE MINAS**. Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 03 (Tres) veces, mediante el software antiplagio Turnitin, conforme al Artículo 6° del presente reglamento y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de: **08 % (ocho por ciento)**.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación, tesis, textos, libros, revistas, artículos científicos, material de enseñanza y otros (Art. 7, inc. 2 y 3)

Porcentaje	Evaluación y acciones.	Marque con una X
Del 1 al 10 %	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30%	Devolver al usuario para las correcciones.	-----
Mayores a 31 %	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a ley.	-----

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera hoja del reporte del software antiplagio.

Cusco, 28 de setiembre de 2023.

FIRMA

POST FIRMA: Mgt. Miguel Vera Miranda
DNI Nro.: 23876027

ORCID ID: 0000-0002-9349-8463

Se adjunta:

1. Reporte Generado por el sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio:
<https://unsaac.turnitin.com/viewer/submissions/oid:27259:270294852?locale=es-MX>

NOMBRE DEL TRABAJO

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA CHIME
NEA - 017, PARA MEJORAR LA VENTILA
CIÓN EN LA RAMPA 440 DE LA COMPAÑ**

AUTOR

JONATHAN SUVIZARRETA ESPINOZA

RECUENTO DE PALABRAS

25261 Words

RECUENTO DE CARACTERES

142292 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

138 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

3.8MB

FECHA DE ENTREGA

Sep 28, 2023 11:23 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Sep 28, 2023 11:24 AM GMT-5

● **8% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base c

- 8% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossr

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Base de datos de trabajos entregados
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)
- Material bibliográfico
- Material citado

DEDICATORIA

Dedico esta tesis primordialmente a mis padres, Ebert Suvizarreta e Hilda Espinoza por todo el respaldo y esfuerzo brindado para que pueda concluir mi carrera profesional, a mi madre Antonia Aceituna por las diferentes lecciones de vida que me brinda, a mi tía Pilar Suvizarreta por el apoyo permanente e incondicional, a mi familia por brindarme motivación, consejos y por estar siempre en todas las etapas de mi vida.

AGRADECIMIENTO

A mis padres, familia y amigos, por su respaldo sin condiciones, Por haber contribuido a moldear la persona que soy hoy en día y por proporcionarme la motivación necesaria para alcanzar mis objetivos. A mis colegas, por compartir conmigo sus conocimientos y experiencias, lo cual ha sido un valioso aporte para mi crecimiento profesional en la industria minera. Finalmente, pero no menos importante, a mi asesor y docentes quienes a través de su vasta experiencia me brindaron el soporte necesario para sacar adelante este proyecto.

RESUMEN

En la industria minera, especialmente en las operaciones subterráneas de la Compañía MACDESA, la ventilación es un aspecto crítico que afecta directamente la seguridad y la eficiencia operativa. Motivo por el cual el objetivo principal de la presente tesis es determinar los parámetros de diseño de la Chimenea-017, para mejorar la ventilación en la profundización de la Rampa 440 en la Compañía MACDESA - Arequipa.

El tipo de investigación realizada es aplicada de causa y efecto, descriptiva con un vínculo normativo y cuantitativo según el tipo de datos. El nivel de investigación es descriptivo, explicativo y correlacional utilizando técnicas de prueba estándar, observación y medición para determinar las características del circuito de ventilación en la Rampa 440. El procesamiento de información se hizo con herramientas informáticas para el diseño, análisis de costos y el análisis de circulación de flujo de aire en la Rampa 440.

Los parámetros de diseño de la Chimenea-017 para su construcción son: la sección de 2x2m, longitud de 280m, una inclinación de 80° y en rocas de tipo II, en consecuencia, el método más adecuado para la construcción, según las características, es con la plataforma Alimak STH - 5E de funcionamiento eléctrico con un costo de 495.29 dólares por metro con lo que se logrará la mejora de la ventilación de la Rampa 440 cuyo requerimiento de 88,340.96 CFM es cubierto solo al 64.60%. Al concluir la construcción de la Chimenea 017 el requerimiento de aire será cubierto al 105.35% cumpliendo las exigencias del reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería.

Palabras clave: Chimeneas, Ventilación, Circuito, Alimak.

ABSTRACT

In the mining industry, especially in the underground operations of MACDESA Company, ventilation is a critical aspect that directly affects safety and operational efficiency. This is why the main objective of this thesis is to determine the design parameters of Chimney-017 to improve ventilation in the deepening of Ramp 440 at MACDESA Company in Arequipa.

The type of research conducted is applied, cause and effect, descriptive with a normative and quantitative link according to the type of data. The research level is descriptive, explanatory, and correlational, using standard testing techniques, observation, and measurement to determine the characteristics of the ventilation circuit in Ramp 440. Information processing was done using computer tools for design, cost analysis, and airflow circulation analysis in Ramp 440.

The design parameters for the construction of Chimney-017 are as follows: a section of 2x2m, a length of 280m, an inclination of 80°, and in Type II rocks. Therefore, the most suitable method for construction, according to these characteristics, is with the Alimak STH - 5E electrically operated platform, with a cost of \$495.29 per meter. This will achieve an improvement in the ventilation of Ramp 440, whose requirement of 88,340.96 CFM is currently only covered at 64.60%. Upon the completion of Chimney 017 construction, the air requirement will be met at 105.35%, complying with the occupational safety and health regulations in mining.

Keywords: Chimneys, Ventilation, Circuit, Alimak.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTO	III
RESUMEN.....	IV
ABSTRACT.....	V
ÍNDICE	VI
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIV
ÍNDICE DE CUADROS.....	XVI
INTRODUCCIÓN	1
1. CAPITULO I.....	2
PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA	3
1.2.1. Problema general	3
1.2.2. Problemas específicos.....	3
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION	4
1.3.1. Objetivo general.....	4
1.3.2. Objetivos específicos	4
1.4. JUSTIFICACIÓN	4
1.5. HIPOTESIS.....	5
1.5.1. Hipótesis general.....	5
1.5.2. Hipótesis específicas.....	5
1.6. VARIABLES E INDICADORES	6
2. CAPITULO II	7
MARCO TEORICO.....	7

2.1.	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN Y MARCO LEGAL	7
2.1.1.	Antecedentes a nivel local	7
2.1.2.	Antecedentes a nivel nacional.....	7
2.1.3.	Antecedentes a nivel internacional	8
2.1.4.	Marco legal	8
2.2.	MARCO CONTEXTUAL	13
2.2.1.	Ubicación geográfica	13
2.2.2.	Accesibilidad.....	14
2.2.3.	Clima.....	15
2.2.4.	Geología regional.....	15
2.2.5.	Geología local	15
2.2.6.	Geología estructural	16
2.2.6.1.	Sistema de fallas y vetas	16
2.2.6.2.	Fallamiento.....	16
2.2.7.	Tipo de yacimiento	17
2.2.8.	Minerales.....	17
2.2.9.	Estructuras mineralizadas	17
2.2.10.	Métodos de explotación de la Compañía MACDESA	18
2.2.11.	Ciclo de minado	18
2.2.11.1.	Perforación.....	19
2.2.11.2.	Voladura	20
2.2.11.3.	Limpieza	22
2.2.11.4.	Sostenimiento	23
2.3.	BASES TEORICAS.....	23
2.3.1.	Labores mineras subterráneas.....	23
2.3.2.	Tipos de labores mineras	24
2.3.2.1.	Labores de exploración	24
2.3.2.2.	Labores de acceso	24
2.3.2.3.	Labores de desarrollo	24
2.3.2.4.	Labores de preparación	25

2.3.2.5. Labores de explotación	25
2.3.2.6. Labores auxiliares	25
2.3.3. Chimeneas en minas subterráneas	25
2.3.4. Métodos de construcción de chimeneas.....	27
2.3.4.1. Método convencional.....	27
2.3.4.2. Sistema semi mecanizado con plataforma Alimak	28
2.3.4.3. Sistema Raise Boring.....	30
2.3.5. Mecánica de rocas.....	30
2.3.5.1. Propiedades físicas de las rocas	31
2.3.5.2. Propiedades mecánicas de las rocas.....	32
2.3.6. Geología y sus efectos en voladura.....	33
2.3.6.1. Estratificación (A).....	33
2.3.6.2. Esquistosidad (B).....	33
2.3.6.3. Fractura (C).....	33
2.3.6.4. Fallas (D).....	33
2.3.6.5. Contactos (E).....	33
2.3.7. Geomecánica.....	34
2.3.7.1. Clasificación de Deere (RQD)	34
2.3.7.2. Clasificación de Bieniawski.....	35
2.3.8. Ventilación en minería subterránea	36
2.3.8.1. Tipos de ventilación	37
2.3.8.2. Ventilación principal.....	38
2.3.8.3. Ventilación secundaria.....	38
2.3.9. Aire atmosférico.....	38
2.3.10. Aire de mina.....	39
2.3.11. Circuito de ventilación.....	39
2.3.12. Tipos de sistemas de ventilación.....	41
2.3.12.1. Ventilación soplante	41
2.3.12.2. Ventilación aspirante	41
2.3.12.3. Ventilación mixta	41

2.3.13. Diseño del sistema de ventilación.....	42
2.3.14. Características deseables de un sistema de ventilación	44
2.3.15. Caudal de aire	44
2.3.16. Ventiladores	44
2.3.17. Clasificación de los ventiladores	45
2.3.17.1.Ventiladores Axiales.....	46
2.3.17.2.Ventiladores centrífugos o radiales	47
2.3.17.3.Ventilador de hélice.....	48
2.3.18. Ubicación del ventilador	49
2.3.18.1.Ventilador aspirante en superficie	49
2.3.18.2.Ventilador soplante en superficie	51
2.3.19. Costos mineros en la elaboración de precios unitarios	52
2.3.19.1.Según su grado de variabilidad.....	52
2.3.19.2.Según su asignación.....	53
2.3.19.3.Según su comportamiento	53
3. CAPITULO III.....	54
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	54
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	54
3.2. NIVEL.....	54
3.3. POBLACION Y MUESTRA	54
3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	55
3.4.1. Técnicas de recolección de datos.....	55
3.4.2. Instrumentos de recolección de datos	56
3.4.3. Procesamiento de la información.....	56
4. CAPITULO IV	57
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	57
4.1. IDENTIFICACIÓN DEL ÁREA PARA LA EJECUCIÓN DE LA CHIMENEA	
017. 57	
4.2. MÉTODO DE CONSTRUCCIÓN DE LA CHIMENEA 017	59

4.2.1. Plataforma trepadora STH - 5E.....	61
4.2.1.1. Componentes básicos.....	62
4.2.1.2. Componentes adicionales.....	64
4.3. INDICE DE CALIDAD DE ROCA RQD.....	65
4.4. CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR SEGÚN BIENIAWSKI	67
4.4.1. Caracterización geomecánica del macizo rocoso – zona Rampa.....	68
4.4.2. Calidad del macizo rocoso de la Estocada 401 SW de la Rampa 440.....	69
4.5. DISEÑO DE LA CHIMENEA 017.....	69
4.5.1. Ubicación de la chimenea 017	70
4.5.2. Longitud e inclinación de la Chimenea - 017.....	73
4.5.3. Sección de la Chimenea - 017.....	74
4.5.4. Parámetros de diseño de la chimenea - 017	75
4.6. ETAPAS EN LA CONSTRUCCIÓN CON PLATAFORMA ALIMAK	75
4.6.1. Cámara para el Alimak	75
4.6.2. Construcción de la chimenea piloto.....	76
4.6.3. Excavación de la chimenea.....	76
4.6.4. Desmontaje	77
4.7. CICLO DE EXCAVACIÓN	77
4.7.1. Perforación y carguío de taladros	78
4.7.2. Descenso de la plataforma y voladura	78
4.7.3. Ventilación y regado.....	78
4.7.4. Ascenso de la plataforma y desatado de rocas.....	79
4.8. DISEÑO DE MALLA DE PERFORACIÓN Y VOLADURA	79
4.8.1. Diseño de malla de perforación	79
4.8.1.1. Calculo teórico de las dimensiones del arranque con el modelo matemático de Konya	80
4.8.1.2. Cálculo teórico del número de taladros.....	83
4.8.1.3. Eficiencia de perforación	85
4.8.1.4. Eficiencia por disparo	85
4.8.2. Máquinas de perforación y accesorios.....	85

4.8.2.1. Maquinas perforadoras.....	85
4.8.2.2. Accesorios.....	88
4.9. VOLADURA.....	90
4.9.1. Emulnor.....	90
4.9.2. Factor de carga.....	91
4.9.3. Detonador no eléctrico.....	93
4.9.3.1. Tipos.....	93
4.9.3.2. Componentes:.....	94
4.10. SOSTENIMIENTO.....	95
4.11. REQUERIMIENTO TOTAL DE AIRE (Q_{To}).....	97
4.11.1. Caudal requerido por número de trabajadores (Q_{Tr}).....	97
4.11.2. Caudal requerido por consumo de madera (Q_{Ma}).....	98
4.11.3. Caudal requerido por temperatura (Q_{Te}).....	100
4.11.4. Caudal requerido por equipo petrolero (Q_{Eq}).....	100
4.11.5. Caudal requerido por fugas (Q_{Fu}).....	101
4.12. COBERTURA DE AIRE.....	102
4.13. CIRCUITO DE VENTILACIÓN ACTUAL DE LA RAMPA 440.....	103
4.13.1. Evaluación de ingreso de flujol de aire.....	105
4.13.2. Evaluación de salida del flujo de aire.....	105
4.14. CIRCUITO DE VENTILACIÓN CON LA CHIMENEA 017.....	106
4.15. ANÁLISIS DE LA COBERTURA DE AIRE.....	108
4.16. ANÁLISIS DE COSTOS OPERATIVOS.....	109
4.16.1. Precio unitario de mano de obra directa.....	109
4.16.2. Precio unitario de perforación.....	109
4.16.3. Precio unitario de equipos de protección personal.....	110
4.16.4. Sostenimiento.....	111
4.16.5. Análisis de precios unitarios.....	112
CONCLUSIONES.....	114

RECOMENDACIONES	116
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	117
ANEXOS.....	119

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Variables e Indicadores.....	6
Tabla 2. Calidad de Roca Basado en RQD.....	35
Tabla 3. Composición del Aire Atmosférico.....	39
Tabla 4. Parámetros de Diseño	81
Tabla 5. Resultados de Cálculos de Diseño (milímetros).....	81
Tabla 6. Resultados de Cálculos de Diseño (metros).....	82
Tabla 7. Espaciamiento de los Taladros.....	83
Tabla 8. Coeficiente o Factor de Roca.....	84
Tabla 9. Datos Generales de la Chimenea – 017.....	91
Tabla 10. Resumen de los Parámetros Calculados.....	92
Tabla 11. Resumen de Cálculos.....	93
Tabla 12. Distribución de Carga en Taladros Perforados.....	93
Tabla 13. Accesorios de Voladura.....	95
Tabla 14. Número de Trabajadores por Guardia	97
Tabla 15. Factor por Consumo de Madera.....	98
Tabla 16. Consumo de Madera por Zona.....	99
Tabla 17. Velocidad Mínima Según la Temperatura.....	100
Tabla 18. Total de HPs de los Equipos.....	101
Tabla 19. Caudal Total Requerido.....	102
Tabla 20. Caudal de Aire Suministrado.....	105
Tabla 21. Salidas de Aire a la Zona de Esperanza Norte.....	105

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación Geográfica de la Mina MACDESA.	14
Figura 2. Taladros Perforados con Jack Leg.....	19
Figura 3. Voladura Mediante el uso del Emulnor.....	21
Figura 4. Pala Neumática EIMCO 12B.	22
Figura 5. Estructura de Rocas.	34
Figura 6. Componentes del Sistema de Ventilación.	42
Figura 7. Ventilador Axial.	46
Figura 8. Ventilador Centrífugo.....	48
Figura 9. Ventilador de Hélice.....	48
Figura 10. Ubicación de la Chimenea-017.	58
Figura 11. Características - Alimak STH-5E.....	61
Figura 12. Componentes de la Plataforma Trepadora Alimak	65
Figura 13. Evaluación del RQD de Testigos.	66
Figura 14 Valoración del Macizo Rocosos Rampa 440.	68
Figura 15 Valoración del Macizo Rocosos Galería 115 NW.	68
Figura 16 Ubicación de Chimenea 017. Vista en Planta.	71
Figura 17. Sección Longitudinal de la Ubicación de la Chimenea – 017.....	72
Figura 18. Sección Transversal y Longitudinal Chimenea – 017.....	73
Figura 19. Cámara Para la Plataforma Alimak.	75
Figura 20. Construcción de Chimenea Piloto Inicial.	76
Figura 21. Ciclo de Excavación.	77

Figura 22. Diseño del Burden.	81
Figura 23. Diseño del Tercer Cuadrante	82
Figura 24. Diagrama de Perforación y Voladura.	83
Figura 25. Distribución de Perforación y Voladura.....	84
Figura 26. Rendimiento de las Perforadoras Jack Leg y Stoper	88
Figura 27. Performance S250 / Calidad de Aire	88
Figura 28. Circuito de ventilación actual de la Rampa 440.....	104
Figura 29. Circuito de ventilación con la Chimenea - 017	107
Figura 30. Análisis Estadístico de la Cobertura de Aire.....	108

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Rutas de Acceso a la Mina MACDESA.	14
Cuadro 2. Criterios de evaluación y sus respectivos valores.	36
Cuadro 3. Cuadro Comparativo Entre Métodos de Construcción de Chimeneas.....	60
Cuadro 4. Logueo de Testigos BQ, Zona Rampa.	66
Cuadro 5. Ubicación de la Chimenea 017	70
Cuadro 6. Características – Perforadora Stoper.	86
Cuadro 7. Mangueras de Suministro Stoper.	86
Cuadro 8. Características - Jack Leg.....	87
Cuadro 9. Mangueras de Suministro Jack Leg	87
Cuadro 10. Barra de Avance Neumático	87
Cuadro 11 Características Técnicas de las Barras Cónicas de Perforación	89
Cuadro 12. Brocas de 36 y 38 mm.....	89
Cuadro 13. Tipos de Emulnor y Usos.....	90
Cuadro 14. Características Técnicas Emulnor	90
Cuadro 15. Presentación	91
Cuadro 16. Sostenimiento Según el Tipo de Roca.	96
Cuadro 17. Consumo de Madera por Guardia.	98
Cuadro 18. Cálculo de Cobertura de Aire.....	103
Cuadro 19. Precios Unitarios de Mano de Obra.	109
Cuadro 20. Precios Unitarios de Aceros de Perforación.....	109
Cuadro 21. Precios Unitarios de Mangueras y Conexiones.....	110
Cuadro 22. Precio Unitario de Lubricantes.....	110

Cuadro 23. Precios Unitarios de Equipos de Protección Personal.....	110
Cuadro 24. Precio Unitario por Sostenimiento.....	111
Cuadro 25. Parámetros de Construcción de la Chimenea - 017.	112
Cuadro 26. Análisis de Precios Unitarios Cimenea-017 Alimak.....	112

INTRODUCCIÓN

El enfoque principal de esta investigación se centra en el diseño y construcción de la Chimenea-017, para mejorar la ventilación en la Rampa 440 de la Compañía MACDESA - Arequipa. La cuestión de la ventilación representa un desafío persistente en todas las minas subterráneas, especialmente a medida que se realizan profundizaciones y se expanden las labores, lo cual incrementa su complejidad y limitaciones.

La falta de un entorno laboral apropiado para el personal desempeñando labores en el interior de la mina, específicamente durante la profundización de la Rampa 440, ha sido identificada como el principal desafío. Por consiguiente, resulta imperativo desarrollar un diseño y llevar a cabo la construcción de una chimenea que permita aumentar el flujo de aire disponible por individuo en las dos áreas afectadas, a saber, Esperanza Sur y Rampa, las cuales presentan deficiencias en cuanto a ventilación se refiere.

En base a los parámetros establecidos en el cuarto capítulo de la esta tesis, se determina que el método de construcción más adecuado para la Chimenea-017 es el método semi mecanizado utilizando la plataforma trepadora Alimak. Esta elección se basa en la mayor capacidad de adaptabilidad de este método a las dimensiones específicas del proyecto.

Para garantizar un suministro adecuado de aire, se ha planificado la colocación de un extractor de 40000 CFM en la parte superior de la chimenea 017. Este extractor desempeñará un papel crucial al extraer el aire viciado del interior de la Rampa 440, evitando su circulación dentro de la mina. Como resultado, se generará una depresión que permitirá que el aire limpio ingrese en proporción equivalente a través de la bocamina de la Rampa 440.

CAPITULO I

PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La adecuada circulación de aire fresco y la extracción de aire contaminado en las operaciones mineras subterráneas representan desafíos significativos en el ámbito de la minería subterránea. La entrada de aire natural a las labores mineras, sin requerir la intervención de un dispositivo mecánico externo, se conoce como ventilación natural. Por otro lado, la ventilación forzada implica el uso de sistemas mecánicos alimentados por electricidad, motores diésel o aire comprimido para impulsar flujos de aire a interior mina, debido a las diferencias de presión creadas por el dispositivo mecánico. En la mayoría de los casos, se emplean medios mecánicos, como ventiladores, para llevar a cabo esta función.

El Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería establece que: la presencia de menos del 16% de oxígeno en el aire puede ocasionar la muerte de una persona, por lo tanto, se recomienda mantener un nivel de oxígeno superior al 19.5% para garantizar una respiración adecuada. La falta de una ventilación adecuada en el ambiente de trabajo puede ser perjudicial para los trabajadores de la mina, afectando su salud y rendimiento. Incluso cuando no hay una calidad de aire óptima en el interior de una galería minera, los equipos se ven afectados debido a que aspiran los gases emitidos por ellos mismos, lo que genera deficiencias en la disponibilidad de los motores.

En la Compañía MACDESA, el método de explotación es el corte relleno ascendente convencional, con sostenimiento de puntales y cuadros de madera. Las chimeneas convencionales cumplen múltiples funciones en la operación minera, como delimitar los blocks de explotación,

servir como echaderos, accesos y otros exclusivamente para la ventilación. Por consiguiente, la construcción de chimeneas es muy importante en esta unidad minera.

La Rampa 440 con gradiente negativa de 12% y sección de 4.50m x 4.50m en la Compañía MACDESA, se encuentra en la etapa de profundización, actualmente el tope de la Rampa 440 se encuentra el Nivel 1450. En la construcción de esta rampa se está empleando un equipo Jumbo DD311 para la perforación, ANFO para la voladura, un equipo SCOOP LH410 TORO para la limpieza del material y el suministro de aire para la ventilación depende de ventiladores auxiliares ubicados en interior mina.

Uno de los problemas que se enfrenta en la etapa de profundización de la Rampa 440 es la falta de una ventilación adecuada. El aumento de labores de desarrollo y explotación, el escaso suministro de energía eléctrica, falta de ventiladores y la falta de un buen planeamiento en el área de ventilación, provocan un incremento considerable de la temperatura, retrasos en la ejecución de los proyectos, bajo rendimiento de los trabajadores y equipos.

1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general

a. ¿Cuáles son los parámetros de diseño de la Chimenea – 017, para mejorar la ventilación en la profundización de la Rampa 440 en la Compañía MACDESA - Arequipa?

1.2.2. Problemas específicos

b. ¿Cuáles son los parámetros de diseño de la Chimenea – 017 en la Compañía MACDESA?

c. ¿Cuáles son las características del circuito de ventilación actual en la Rampa 440?

d. ¿Cuáles son las características del circuito de ventilación después de la construcción de la Chimenea – 017?

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION

1.3.1. Objetivo general

- a. Determinar los parámetros de diseño de la Chimenea-017, para mejorar la ventilación en la profundización de la Rampa 440 en la Compañía MACDESA-Arequipa.

1.3.2. Objetivos específicos

- b. Determinar los parámetros de diseño para la construcción de la Chimenea-017 en la Compañía MACDESA.
- c. Determinar las características del circuito de ventilación actual de la Rampa 440.
- d. Determinar las características del circuito de ventilación después de la construcción de la Chimenea-017.

1.4. JUSTIFICACIÓN

La presente justificación de tesis se fundamenta en la responsabilidad de la compañía MACDESA de garantizar buenas condiciones laborales de sus trabajadores. Ante el déficit del sistema de ventilación ocasionado por la profundización de la Rampa 440 con gradiente negativa del 12% y el aumento de labores, se propone la ejecución de la Chimenea 017 para cumplir con los estándares de suministro de caudal de aire.

La deficiencia en la ventilación o las fallas en los estudios del circuito de ventilación conllevan diversas consecuencias negativas. Por un lado, la ventilación lenta provoca pérdidas de tiempo en las labores mineras. Por otro lado, el bajo rendimiento del personal se debe al incremento de la temperatura en la mina. Además, se generan retrasos en la ejecución de los trabajos a corto y mediano plazo.

En este contexto, la investigación propuesta tiene como finalidad mejorar la insuficiencia de aire para la ventilación, mediante la construcción de una chimenea entre el nivel más cercano

al tope de la Rampa 440 y en el nivel superior más próximo a la superficie. Esta solución se plantea como eficiente y de mediano plazo, y servirá para continuar la profundización de la Rampa 440.

En conclusión, la construcción de esta chimenea de ventilación se presenta como una solución viable y necesaria para garantizar un adecuado suministro de flujo de aire a las labores mineras de MACDESA. Esto permitirá mantener un ambiente de trabajo seguro, mejorar la eficiencia y productividad del personal, y evitar retrasos en los trabajos a corto y mediano plazo. La tesis contribuirá al desarrollo de un diseño óptimo de la chimenea, basado en parámetros específicos, y proporcionará los fundamentos para tomar decisiones en la construcción de infraestructuras de ventilación minera.

1.5. HIPOTESIS

1.5.1. Hipótesis general

- a.** Los parámetros de diseño y la construcción de la Chimenea-017; Determinarán la mejora de la ventilación en la profundización de la Rampa 440 en la Compañía MACDESA - Arequipa.

1.5.2. Hipótesis específicas

- b.** El estudio de los parámetros de diseño influirá en la construcción de la Chimenea– 017 en la Compañía MACDESA.
- c.** El estudio del sistema de ventilación de la Rampa 440 determinara las características del circuito de ventilación actual.
- d.** Con la construcción de la Chimenea-017 se determinará las características del nuevo circuito de ventilación que mejorará la ventilación en la profundización de la Rampa 440 en la Compañía MACDESA-Arequipa.

1.6. VARIABLES E INDICADORES

Tabla 1.

Variables e Indicadores

VARIABLE DEPENDIENTE	INDICADORES	UNIDADES
Ventilación en la Rampa 440	Caudal de flujo aire	CFM
	Circuito de Ventilación	Parámetros
VARIABLES INDEPENDIENTES	INDICADORES	UNIDADES
Diseño y Construcción de la Chimenea-017	Diseño de la Chimenea	Parámetros
	Costo de ejecución	Dólares (\$)
	Periodo de ejecución	Meses

Fuente: Elaboración propia del autor.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN Y MARCO LEGAL

2.1.1. Antecedentes a nivel local

En la investigación realizada por Avalos Lloclla (2021), **“Evaluación del sistema de ventilación para el diseño del circuito principal en la mina Esperanza – U. M. San Juan de Arequipa”**, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, concluye que, tras la evaluación de ventilación en la zona Esperanza, se ha determinado el caudal de entrada de 27,780 CFM, mientras que el de salida es de 20,660 CFM. Esto resulta en un desequilibrio de 7,123 CFM, que se pierde debido a la presencia de labores antiguas. Según esta evaluación, se ha identificado que se requiere un caudal total de 43,941 CFM para la zona Esperanza, lo que resulta en un déficit de 16,156 CFM. Esto indica que la cobertura sobre el requerimiento total de aire representa solo el 63%, lo que ha resultado en un aumento de la temperatura en la mina. El nuevo diseño del circuito de ventilación tiene como objetivo mejorar la ventilación hasta lograr la cobertura de total.

2.1.2. Antecedentes a nivel nacional

A. En el trabajo realizado por Andía Granda (2019), **“Diseño de chimeneas gemelas para mejorar la ventilación en los Niveles 1790 – 2050 Veta Paula Cía. Minera Yanaquihua”**. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. En su conclusión menciona que, “Realizado el diseño de las chimeneas gemelas utilizando el método convencional para su construcción, se logra mejorar la ventilación en varios niveles, incrementando el suministro de aire de 63,000 CFM a 148,000 CFM mejorando las condiciones de trabajo. En la zona Paola, se planea la instalación de un ventilador axial en la chimenea gemela con una capacidad de operación de 14,409 CFM y

una presión de 4.66 pulgadas de agua (H₂O). Lo que resulta en que, debido a la depresión, el aire fresco necesario para ventilar los tajos y frentes ingrese por el Nivel 2050.”

B. En la investigación realizada por Vílchez Córdova & Vílchez Córdova (2015). **“Estudio comparativo de construcción de chimeneas, por método convencional Ch. 340 SW y mecanizado con plataforma trepadora Alimak Ch. 480 SW, en la Zona Torre de Cristal de la Compañía Minera Raura S.A.”**, Universidad Nacional del Centro del Perú, concluye que la construcción de chimeneas con plataforma Alimak es la elección óptima para su implementación en la Compañía Minera Raura S.A. Este sistema tiene la capacidad de realizar chimeneas de considerables longitudes dentro de un plazo de tiempo relativamente breve, manteniendo un costo por metro prácticamente equivalente al sistema convencional. Sin embargo, destaca por completar la ejecución en menos de la mitad del tiempo, lo que resulta en una opción más rentable en relación al método convencional.

2.1.3. Antecedentes a nivel internacional

Yucas Mejia (2015). En su tesis **“Análisis geomecánico del macizo rocoso para la construcción de la chimenea Glory Hole mediante el sistema Alimak”**, Universidad Central del Ecuador, concluye sobre utilización de la plataforma Alimak como el más económico desde el punto de vista comparativo con otros sistemas de construcción de chimeneas, debido a adaptabilidad a cualquier dimensión y forma de las chimeneas.

2.1.4. Marco legal

Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería D.S. N° 024-2016-EM y su modificatoria D.S. N° 023-2017-EM.

Subcapítulo VIII

Art. 246.- El titular minero debe garantizar la provisión de aire limpio en las áreas de trabajo según las exigencias del personal y los equipos, además de eliminar los gases, humos y partículas en suspensión que puedan afectar la salud de los trabajadores, y también asegurarse de mantener condiciones confortables.

La pureza del aire, permanecerá dentro de los niveles aceptables de sustancias químicas, según lo indicado en el ANEXO 15 y en conformidad con las directrices del Reglamento concerniente a los Valores Límite Permisibles para Sustancias Químicas presentes en el Entorno Laboral. Además, se requiere que cumpla con los siguientes requisitos:

- a) Antes de comenzar cada jornada de trabajo, especialmente al entrar en labores mineras planificadas, como chimeneas y piques, es necesario llevar a cabo monitoreo de gases relevantes, de acuerdo con las características de la mina, explosivos empleados y la utilización de equipos diésel.
- b) Es esencial conservar un adecuado flujo de aire fresco y limpio que cumpla con los requisitos en términos de cantidad y calidad. Esto debe ajustarse según el número de trabajadores presentes y la suma de la potencia de los equipos diésel (HPs). Asimismo, la circulación de aire debe ser suficiente para la dilución de gases, garantizando una cantidad mínima de oxígeno (19.5 %).
- c) La entrada tanto la salida de aire estarán completamente separadas. La ventilación principal dentro de la mina, estará subdividido en ramificaciones, de manera que cada área de trabajo reciba su asignación adecuada de aire fresco, evitando cualquier posibilidad de recirculación de aire.
- d) Si la ventilación natural no puede cumplir con los requisitos mencionados anteriormente, se debe recurrir a la ventilación mecánica, que incluye la instalación de ventiladores.

- e) Los ventiladores deben ser instalados de manera que se evite la posibilidad de recircular el aire contaminado. No está permitido la ventilación de labores con aire que haya sido previamente utilizado o esté viciado.
- f) En labores que tengan un solo acceso y con un avance superior a 60 metros, es imperativo usar ventiladores auxiliares. Para avances de hasta 60 metros, el uso de ventiladores auxiliares se determinará según las condiciones ambientales. En labores de preparación y desarrollo, se debe colocar la manga ventilación a una distancia no superior a 15 metros del frente de trabajo.
- g) En caso de que existan indicios de cercanía a una cavidad subterránea de gas, se deben realizar perforaciones que sean paralelos y diagonales al eje de la excavación, con un avance mínimo de 10 metros.

Art. 247.- En minas situadas a altitudes de hasta 1,500 msnm, se requerirá una cantidad mínima de 3 m³/min de aire por persona. En altitudes diferentes, se ajustará con la siguiente escala:

1. A altitudes de 1,500 a 3,000 msnm, la cantidad de aire requerida se incrementará en un 40.00%, equivalente a 4 m³/min por persona.
2. A altitudes de 3,000 a 4,000 msnm, la cantidad de aire requerida se incrementará en un 70.00%, lo que equivale a 5 m³/min por persona.
3. A altitudes por encima de los 4,000 msnm, se incrementará en un 100.00%, lo que equivale a 6 m³/min por persona.

Art. 248.- Por ningún motivo la velocidad de aire será inferior a 20 m/min ni superar los 250 m/min en las labores de explotación, lo que incluye desarrollos y preparaciones. Cuando se utilicen explosivos como el ANFO, la velocidad debe ser mayor a 25 m/min.

Art. 249.- Se consideran todas las medidas para prevenir el deterioro y la detención de los ventiladores principales. Los ventiladores deben satisfacer las siguientes condiciones:

- 1) Los ventiladores deben ser instalados en lugares que sean a prueba de incendios y estén seguras sobre posibles derrumbamientos, impactos, explosiones y agentes extraños.
- 2) Es necesario contar con al menos 02 fuentes de energía eléctrica independientes, preferiblemente provenientes de rutas distintas en la medida de lo posible
- 3) Deben estar equipados con silenciadores con el fin de reducir al mínimo el ruido.
- 4) Deben contar con alarma automática en caso de detenerse.
- 5) Es fundamental cumplir rigurosamente con el mantenimiento para corregir y prevenir fallas.

Art. 250.- En el caso de fallos mecánicos o eléctricos en los ventiladores que proveen ventilación a las labores mineras en operación, se debe detener y bloquear el acceso a dichas labores. Esto se hace para evitar que el personal y equipos ingresen hasta que sean autorizados por el ingeniero encargado.

Art. 251.- En el caso de los ventiladores con una capacidad igual o superior a 100,000 CFM, es necesario instalar paneles de control para supervisar su funcionamiento, ajustarlos según los parámetros necesarios, emitir alarmas en caso de detención y activar la alarma automática en caso de cortes de energía.

En caso de extraer aire contaminado, el monitoreo debe incluir la medición de los niveles de gases.

El panel de control debe estar equipado con baterías de reserva que permita mantener su funcionamiento en caso de interrupciones eléctricas y la operación solo puede ser realizada por personal autorizado.

Art. 252.- Es necesario llevar a cabo evaluaciones exhaustivas de ventilación de la mina cada seis meses, así como evaluaciones parciales siempre que se realicen interconexiones de labores y se produzcan alteraciones en la distribución de aire.

La evaluación integral de la ventilación debe abordar los siguientes aspectos:

- a) Localización de estaciones de control.
- b) Circuitos de distribución de aire.
- c) Balance entre el flujo de aire que entra y sale de la mina. La diferencia en el flujo entre la entrada y la salida no debe sobrepasar el 10%.
- d) El requerimiento de aire en la mina debe satisfacer las necesidades del personal, temperatura confortable y garantizar el funcionamiento de los equipos. La madera utilizada en interior mina para diferentes fines, emite ciertos gases, por ende, será considerado para el cálculo del requerimiento de aire. El factor necesario para los cálculos está estrechamente relacionado con la producción, y se determina considerando la siguiente escala:
 - Cuando el consumo de madera representa entre el 20% y el 40% del total de producción, el factor se establecerá en 0.60 m³/min.
 - Cuando el consumo de madera abarca entre el 41% y el 70% del total de producción, el factor se establecerá en 1 m³/min.
 - Cuando el consumo de madera excede el 70% del total de producción, se deberá aplicar un factor de 1.25 m³/min.
- e) La cantidad de aire necesaria para los equipos que funcionan con motores diésel no debe ser inferior a tres metros cúbicos por minuto (3 m³/min), y debe calcularse en

función de la capacidad efectiva de potencia (HPs) de los equipos, teniendo en cuenta su disponibilidad mecánica y su uso.

Las evaluaciones de ventilación deben llevarse a cabo utilizando instrumentos apropiados y debidamente calibrados para satisfacer los requisitos específicos de cada situación.

2.2. MARCO CONTEXTUAL

2.2.1. Ubicación geográfica

La Compañía Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. (MACDESA). está ubicada en el centro poblado Cuatro Horas, distrito de Chaparra, provincia de Caravelí y departamento de Arequipa, al NW de la ciudad de Arequipa, a una altitud promedio de 1930 msnm. y en los cerros altos cercanos alcanzando una altura máxima de 3200 m.s.n.m.

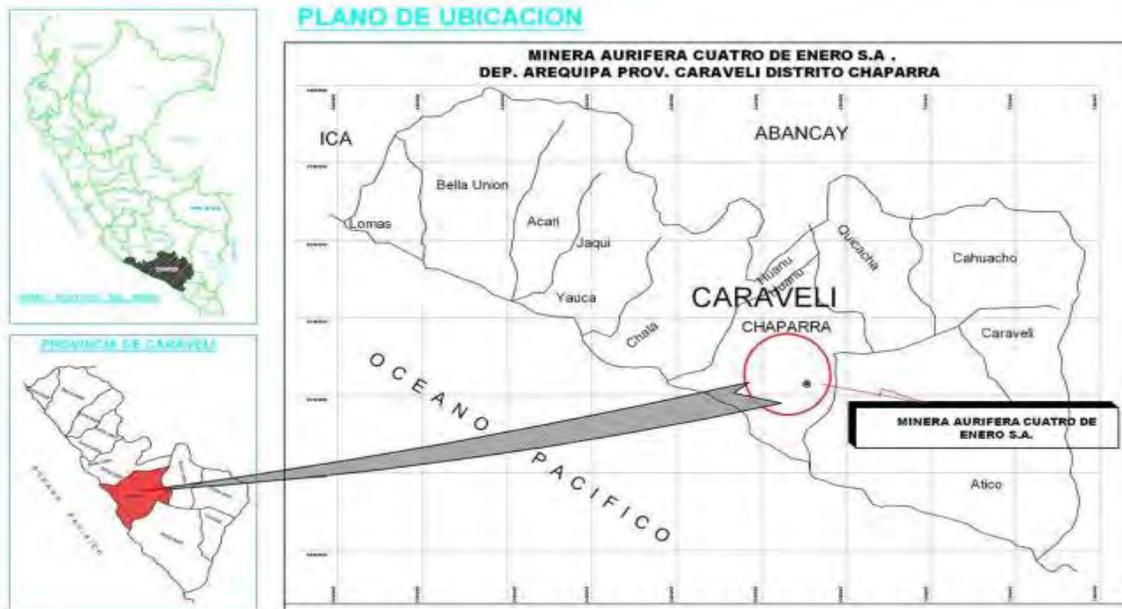
Con las coordenadas geográficas siguientes:

- 15° 42' 00" Latitud Sur.
- 73° 53' 30" Longitud Oeste.

Presenta las siguientes coordenadas UTM WGS-84: E-618909 y N-8264132

Figura 1.

Ubicación Geográfica de la Mina MACDESA.



Fuente: Área de geología (Compañía MACDESA).

2.2.2. Accesibilidad

La Compañía Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. con su Unidad Económica Administrativa, Cuatro Horas, se puede acceder desde la ciudad de Arequipa y desde la capital Lima, por los tramos descritos en el siguiente cuadro:

Cuadro 1.

Rutas de Acceso a la Mina MACDESA.

RUTA A LA MINA MACDESA			
Ruta	Vía	Distancia	Tiempo de Viaje
Arequipa-Chaparra-MACDESA	Terrestre	435 km	8 horas
Lima-Chala-Chaparra-MACDESA	Terrestre	675 km	10 horas

Fuente: Compañía MACDESA.

2.2.3. Clima

Debido a que la Compañía MACDESA está ubicado en la costa sur del Perú, de clima generalmente es seco durante la mayor parte del año; ocasionalmente puede presentar variaciones a consecuencia de las estaciones del año.

Las temperaturas oscilan entre un mínimo de 15°C y un máximo de 30°C, estas variaciones están controladas por la geografía del lugar que es accidentada. Las lluvias se presentan esporádicamente entre los meses de enero y marzo ocasionando huaycos a causa de la escasa vegetación que existe en la zona.

2.2.4. Geología regional

La geología regional abarca una variedad de rocas que incluyen metamórficas, intrusivas, sedimentarias y volcánicas. Las primeras rocas son los metasedimentos, seguidos por anfibolitización del Precámbrico. Posteriormente, se encuentran las rocas sedimentarias pertenecientes al Mesozoico. Finalmente, se ubican las rocas ígneas intrusivas del Batolito de la Costa.

El Batolito de la Costa se componen principalmente de rocas intrusivas. Estas rocas están compuestas principalmente de plagioclasas, cuarzo y feldespatos. Presentan un tamaño de grano uniforme, con cristales que exhiben formas euhedrales y una matriz microcristalina compuesta por cuarzo, plagioclasa y feldespatos (MACDESA, 2019).

2.2.5. Geología local

En la localidad de Cuatro Horas, se encuentran rocas ígneas que forman parte de la Unidad Tiabaya, la cual es una extensión del Batolito Costanero. Dentro de esta área, prevalecen las rocas intrusivas tipo plutónicas intercectadas por diques hipabisales. Estos diques son de gran trascendencia en el ambito economico por su relacion directa o indirecta con la génesis y el tipo de mineralización presente en el yacimiento de Cuatro Horas (MACDESA, 2019).

2.2.6. Geología estructural

Las estructuras presentes en la zona están directamente vinculadas con la tectónica de los Andes, resultado del hundimiento de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana. Estas estructuras mineralizadas están estrechamente asociadas a la franja aurífera que se extiende desde Ocoña hasta Palpa. En su mayoría, se relacionan con sistemas de fallas y fracturas, que son consecuencia de la deformación regional que ha tenido lugar en la zona (Calderon Navarro, 2015).

2.2.6.1. Sistema de fallas y vetas

En la superficie de la zona, es común encontrar un considerable número de diques andesíticos que presentan fenocristales de plagioclasa, y en algunas áreas, muestran silicificación. Estos diques tienen orientaciones que varían entre N 70° W, N 80° W y E - W. La importancia de estos diques radica en su conexión con la mineralización, ya que han funcionado como vías para el depósito de minerales. A lo largo de su exposición en la superficie, se puede observar la mineralización de manera paralela a la orientación de los diques. Las vetas tienen direcciones de N 60° W y N 80° W. Por otro lado, en el lado oeste de la veta Cuatro Horas, se encuentran diques andesíticos silicificados con orientación N 20° W. Este hallazgo respalda la existencia de una actividad hidrotermal que ha provocado la mineralización de las fracturas preexistentes (Calderon Navarro, 2015).

2.2.6.2. Fallamiento

Las fuerzas tectónicas que ejercen presión en las rocas pueden causar deformaciones en la misma, como es el caso de estas rocas de tipo granodiorítico que han experimentado un proceso de fracturamiento. La magnitud del fracturamiento está correlacionada con los niveles de compresión de la roca (Calderon Navarro, 2015).

2.2.7. Tipo de yacimiento

Es un yacimiento aurífero filoniano de tipo hidrotermal de sulfuración baja y vetas con relleno de fracturas. Las estructuras de mineralización tienen rumbos NW con buzamientos de NE.

Este yacimiento se ubica dentro del Batolito de la Costa, en el segmento Arequipa de la Super Unidad Tiabaya. Pertenece a la franja aurífera que se extiende desde Nazca hasta Ocoña. En esta región, las soluciones hidrotermales han sufrido una fuerte influencia de la alteración argílica avanzada.

La formación de este yacimiento se debe a la tectónica de la región, que está relacionada con las áreas magmáticas continentales. Específicamente, está vinculado a los procesos de subducción entre la placa de Nazca y la Sudamericana.

Las vetas se forman a través del llenado de fracturas y procesos de reemplazamiento. La mineralización está compuesta principalmente por calcopirita de origen a alta temperatura, casiterita, pirrotina, arsenopirita, y en menor medida esfalerita, galena con contenido de plata (Calderon Navarro, 2015).

2.2.8. Minerales

La Compañía MACDESA se encarga principalmente, de la explotación del Oro, con contenido de Plata en pequeñas proporciones, debido al producto principal el yacimiento es aurífero; la plata como subproducto es extraída en el laboratorio, generando un aporte económico en un mínimo porcentaje.

2.2.9. Estructuras mineralizadas

Las principales estructuras que se trabajan en la unidad son:

- Veta Yaki
- Veta Santa Rosa.

- Veta Nancy
- Veta Milagrosa

2.2.10. Métodos de explotación de la Compañía MACDESA

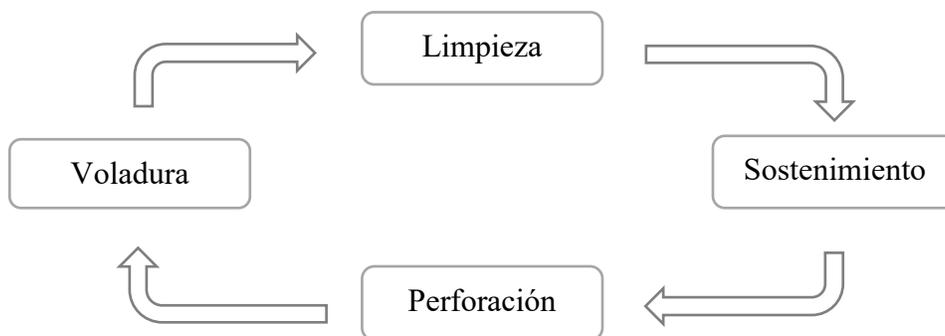
El método utilizado en la Compañía MACDESA es el corte y relleno ascendente convencional, también conocido como “over cut and fill”. Este método de explotación se ejecuta de manera secuencial en rebanadas horizontales, comenzando de la parte inferior de manera ascendente utilizando elementos de sostenimiento principalmente con madera de eucalipto.

El mineral roto con la técnica del circado, es extraído completamente a través de las chimeneas acondicionadas con tolvas para facilitar la extracción con los carros mineros U-35, el espacio vacío dejado es relleno con el material estéril producido por el descaje de la caja piso, proporcionando así un ancho mínimo de trabajo.

Cada block tiene dimensiones de 40m. x 50m. delimitados por chimeneas de servicios a los extremos, el objetivo de este método es controlar el ancho de minado y evitar en lo posible la rotura de las rocas encajonantes. La producción total de mineral es de 150 TMD procedentes de las zonas: Victoria, Morococha, Esperanza Norte, Esperanza Sur y Rampa.

2.2.11. Ciclo de minado

Está descrito de la siguiente manera:



2.2.11.1. Perforación

La perforación en la Compañía MACDESA es una de las principales operaciones unitarias, los taladros perforados posteriormente son cargados con explosivos con el propósito de romper el macizo rocoso. Las máquinas que se utilizan principalmente son las perforadoras neumáticas Jack Leg seco 250, Stoper y Boch.

Las diversas máquinas perforadoras son empleadas debido a su flexibilidad y capacidad para adaptarse a cualquier tipo de terreno, incluso en condiciones incómodas. Son altamente solicitadas y pueden utilizarse para realizar perforaciones tanto horizontales como inclinadas, ya que las características del macizo rocoso varían en distintas zonas.

Figura 2.

Taladros Perforados con Jack Leg.



Nota. Malla de perforación Gal 590. Zona Rampa.

2.2.11.1.1. Equipos y accesorios de perforación

a. Jumbo

La compañía cuenta con un equipo de perforación Jumbo DD311 para la perforación en la Rampa 440 cuya sección es de 4.50 x 4.50 m.

Barrenos y brocas:

- Juego de barrenos de: 8', 10', 12'
- Brocas de 45 mm.

b. Jack Leg

La perforación es roto percutivo en sentido anti horario, transmitida de la maquina hacían la broca mediante el barreno. Utilizados mayormente en labores de preparación, desarrollo y explotación, algunas de sus características son:

- Peso de la maquina : 33 kg.
- Peso de la barra de avance : 15 kg.
- Longitud de la barra de avance : 1,50 m.
- Velocidad de rotación : 200 RPM.
- Consumo de aire : 90 PSI.
- Consumo de agua : 3,78 lt/min.

Barrenos y brocas para la maquina Jack Leg

- Juego de barrenos de: 2', 3', 4', 6'y 8'
- Brocas de 36 mm. y 38 mm.

2.2.11.2. Voladura

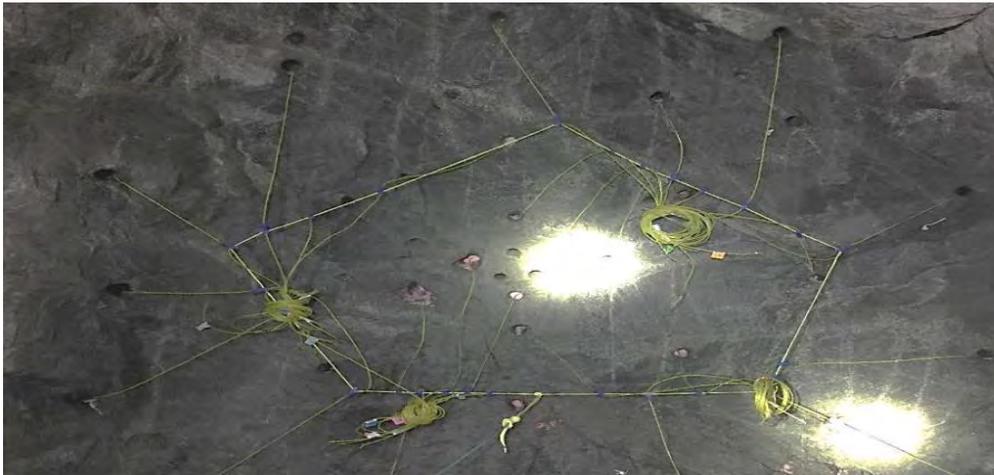
Consiste en la detonación controlada de explosivos en puntos estratégicos dentro de la masa rocosa, con el objetivo de generar la fragmentación necesaria para facilitar la extracción de minerales o el avance de la excavación.

En la compañía MACDESA se utiliza ANFO exclusivamente en la construcción de la Rampa 440 y actualmente el uso de emulsiones es predominante debido a la menor emisión de gases de voladura con respecto a la dinamita.

- Emulnor 500: Se emplea en voladuras de rocas muy suaves y es utilizado en tajos de explotación.
- Emulnor 1000: Se emplea en voladuras de rocas suaves e intermedias, utilizado en tajos en explotación y labores de preparación.
- Emulnor 3000: Se emplea en voladuras de rocas intermedias a duras, se utilizan en labores de preparación y exploración.
- Emulnor 5000: Se emplea en voladuras de rocas muy duras, se utilizan en labores de preparación y exploración.

Figura 3.

Voladura Mediante el uso del Emulnor.



Nota. Frente cargado. Labores de zona Rampa.

Los accesorios utilizados principalmente son: Carmex, mecha rápida, Fanel, pentacord y fulminantes N° 08.

2.2.11.3. Limpieza

Una vez concluida la voladura, se generan fragmentos de material rocoso que deben ser extraídos de los tajos, cortadas, galerías y otras áreas que forman parte del ciclo minero. La limpieza es una etapa fundamental de este proceso.

El trabajo de limpieza realizado en los tajos es principalmente mediante el uso de carretilla, lampa y rastrillo que facilita la extracción por las chimeneas con un buzamiento de 45°.

En el caso de las cortadas y galerías, se lleva a cabo utilizando palas neumáticas EIMCO 12B, las cuales tienen una capacidad de cuchara de 0.16 m³. Estas palas se utilizan para depositar los fragmentos en los carros mineros U-35, los cuales posteriormente son trasladados por locomotoras.

Figura 4.

Pala Neumática EIMCO 12B.



Nota. Pala neumática en la galería 590. Zona Rampa.

2.2.11.4. Sostenimiento

Comprende todos los componentes que brindan apoyo y contención de las rocas encajonantes, previniendo el peligro de caída de rocas o colapsos que podrían dar lugar a situaciones no deseadas, como accidentes, con consecuencias graves. En la Compañía MACDESA se aplican dos tipos de sostenimiento:

2.2.11.4.1. Sostenimiento pasivo

El sostenimiento pasivo en minería subterránea se refiere a las técnicas y elementos utilizados para proporcionar estabilidad a las excavaciones subterráneas sin la necesidad de aplicar fuerzas o energía activa como son los cuadros de madera, cimbras y mallas electrosoldadas.

2.2.11.4.2. Sostenimiento activo

El sostenimiento activo en minería subterránea se refiere a las técnicas y elementos empleados para proporcionar estabilidad y resistencia adicionales a las excavaciones subterráneas mediante la aplicación de fuerzas o energía activa. A diferencia del sostenimiento pasivo, que se basa en la resistencia natural del terreno, el sostenimiento activo requiere la instalación de sistemas y dispositivos que generan fuerzas o presiones para contrarrestar las cargas y los esfuerzos del terreno circundante.

En la Compañía MACDESA se utilizan elementos de sostenimiento que incluyen Split set, Cimbras, pernos helicoidales, puntales de línea y seguridad.

2.3. BASES TEORICAS

2.3.1. Labores mineras subterráneas

Son excavaciones con diversas formas y propósitos que se realizan con el fin de acceder a un yacimiento específico, conectarlo con la superficie, subdividirlo en secciones de dimensiones

y formas predeterminados para llevar a cabo la extracción del material valioso de manera organizada, segura y económicamente beneficioso.

2.3.2. Tipos de labores mineras

2.3.2.1. Labores de exploración

Este proceso implica una secuencia de tareas que comienza con una evaluación general de una región para identificar posibles anomalías minerales, conocida como prospección. Luego, se lleva a cabo una exploración más detallada que permite calcular la composición del depósito mineral, su potencial económico y, finalmente, se determina la factibilidad de explotar dicho depósito mineral descubierto.

2.3.2.2. Labores de acceso

Se trata de labores mineras subterráneas que establecen una conexión entre el cuerpo mineralizado y la superficie. Estas labores suelen tener una vida útil prolongada y desempeñan un papel crucial al hacer que el yacimiento sea accesible desde la superficie.

Los accesos pueden ser:

- Túneles de acceso
- Chimeneas
- Inclinaos
- Rampas

2.3.2.3. Labores de desarrollo

Estas labores mineras tienen como objetivo principal establecer los accesos y las vías internas en las áreas donde se encuentra mineralización. Esto se hace con la finalidad de dividir el yacimiento en unidades que puedan ser explotadas de manera más efectiva.

Los desarrollos pueden ser:

- Desarrollo improductivo
- Desarrollo productivo

2.3.2.4. Labores de preparación

Estas labores mineras se realizan con el propósito de facilitar la extracción eficiente del yacimiento o depósito una vez que se han completado las labores de acceso y desarrollo, tanto en términos de su rumbo y buzamiento.

2.3.2.5. Labores de explotación

Se refiere al conjunto de actividades cuyo propósito es extraer, procesar y almacenar los minerales presentes en el subsuelo de la zona de concesión. Además, contempla el proceso de cierre y abandono de la infraestructura y la estructura relacionada con la actividad minera.

2.3.2.6. Labores auxiliares

Las labores auxiliares en minería subterránea se ejecutan para dar soporte y facilitar la operación principal de extracción de minerales en un yacimiento subterráneo. Estas labores son fundamentales para garantizar la seguridad, eficiencia y productividad de la mina.

2.3.3. Chimeneas en minas subterráneas

Una chimenea se define, como una excavación verticales y subverticales, o inclinados, que normalmente tienen una inclinación mayor a 40°, de secciones circulares, cuadradas o rectangulares, realizados para distintos fines en la minería tales como: ventilación, tránsito del personal, delimitar blocks de explotación, exploración y traslado de minerales a niveles inferiores (Medina Quezada, 2020).

Para Llanque Maquera (2012), “En la minería, una abertura excavada con un ángulo pronunciado hacia arriba se conoce como chimenea, mientras que si está excavada en dirección descendente en sentido contrario, se le llama pique.”

Para Vílchez Córdova & Vílchez Córdova (2015) la clasificación de las chimeneas puede ser:

a) Según la forma:

- Forma circular.
- Forma cuadrada.
- Forma rectangular.

b) Según la sección:

- Sección simple.
- Sección doble.
- Sección triple.

c) Según la longitud

- Longitud corta, hasta 50 metros.
- Longitud larga, de 51 a 100 metros.
- De gran longitud, superiores a los 100 metros.

Según el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería se debe considerar:

Art. 245.- Cuando se consideran dos enfoques diferentes para la construcción de chimeneas de gran tamaño, uno que implica un taladro piloto descendente y rimado ascendente, y otro que involucra una construcción ascendente utilizando una plataforma y una jaula de seguridad, es esencial prestar una atención especial al control de riesgos en los aspectos descritos a continuación:

- a) La cámara para las máquinas y la zona de carguío deben contar con un sistema de soporte adecuado, conforme a los resultados del estudio geomecánico.
- b) El ingeniero, de acuerdo con el diseño, debe garantizar la construcción de un área destinada a la carga del material rimado, utilizando cargadoras y camiones de bajo perfil.
- c) Se debe realizar el análisis de las muestras de polvo, gases y oxígeno del lugar de trabajo.
- d) En lo que respecta a la parte mecánica, se llevará a cabo una inspección diaria del estado de las leonas y se registrará esta revisión por parte del supervisor del área. Si una leona está atascada, se procederá a liberarla siguiendo las recomendaciones técnicas del fabricante. El personal no está autorizado a ingresar a esta chimenea después de una voladura ni después de que haya estado paralizada durante uno (1) o más días, a menos que cuenten con un Permiso Escrito de Trabajo de Alto Riesgo (PETAR).

2.3.4. Métodos de construcción de chimeneas

2.3.4.1. Método convencional

Método en el que se utilizan puntales de avance que sirven de soporte para el entablado de la plataforma de trabajo y el sostenimiento se realiza con cuadros y sobre cuadros de madera. En este método se utilizan maquinas perforadoras neumáticas Stoper y Jack Leg, si la chimenea no es muy pronunciada, barrenos de 3', 4' y 6' y brocas de 36, 38 y 40 mm.

Según el reglamento en minería mencionado anteriormente, para la perforación de chimeneas de tipo convencional que sobrepasen en longitud, los 20 metros, es necesario realizar doble compartimento independientemente el uno del otro: uno destinado al acceso peatonal y otro designado como botadero. Esta norma no se aplica a las chimeneas construidas utilizando métodos mecanizados.

2.3.4.2. Sistema semi mecanizado con plataforma Alimak

Se trata de un método de ascenso semi mecanizado en chimeneas que fue introducido en 1957 y que, desde entonces, se ha convertido en uno de los más ampliamente utilizados en todo el mundo. Esto se debe a su flexibilidad, eficiencia económica y rapidez, lo que lo hace especialmente adecuado para chimeneas largas, especialmente en situaciones en las que no existe acceso en niveles superiores.

2.3.4.2.1. Características

- Este equipo proporciona la capacidad de desarrollar chimeneas de forma segura, tanto verticales como inclinadas, en diversos tipos de formaciones rocosas.
- Las dimensiones de la sección de la chimenea pueden variar desde 1.6 m x 1.6 m hasta 2.4 m x 2.4 m o incluso más amplias, lo que equivale a una superficie de 9 a 20 metros cuadrados. Para chimeneas de estas dimensiones, se utilizan plataformas plegables. Además, estas chimeneas pueden tener longitudes que oscilan desde 13 metros hasta más de 900 metros.
- La perforación, el carguío de taladros y el desatado de rocas sueltas se llevan a cabo bajo el techo protector de la plataforma.
- La voladura se ejecuta una vez que la plataforma este ubicado en el cámara destinado para el equipo Alimak.
- El líder perforista y los ayudantes son trasportados en un compartimento inferior de la plataforma de trabajo.
- El inicio de la utilización de la plataforma en minería fue en 1957, Suecia.
- Se encuentran disponibles varios modelos, que incluyen el STH 5, STH 5L (de funcionamiento neumático), STH 5E (eléctrico) y STH 5D (diésel).

2.3.4.2.2. *Ventajas*

- Estos equipos pueden ser utilizados tanto en chimeneas de corta como de larga longitud, independientemente de su inclinación.
- Se pueden lograr diversas secciones y geometrías en las chimeneas mediante el cambio de las plataformas, lo que permite excavar secciones que van desde 3 hasta 30 metros cuadrados.
- En la etapa de construcción de chimeneas, es factible modificar tanto la dirección como la inclinación empleando carriles curvados.
- En términos de longitud, la excavación puede extenderse ilimitadamente. La chimenea de mayor longitud construida hasta la fecha alcanza los 1040 metros con 45° de inclinación.
- En el proceso de ampliación o extensión de la sección, se pueden utilizar unidades de perforación horizontal para mejorar la eficiencia.
- El costo es menor comparado con el sistema Raise Boring.
- La demanda de mano de obra es relativamente especializada.
- La construcción de la cámara para el Alimak y la chimenea piloto son trabajos que se realizan en un lapso de tiempo breve.

2.3.4.2.3. *Requerimientos para el funcionamiento*

- Aire comprimido para el funcionamiento de las perforadoras manuales.
- Agua para la perforación y regado del frente de trabajo.
- Energía eléctrica en el empleo de la plataforma de propulsión eléctrica.
- Petróleo en el empleo de la plataforma con motor diésel, para longitudes largas.

2.3.4.3. Sistema Raise Boring

Conocido también como sistema RB, se basa fundamentalmente en el uso de una máquina electrohidráulica. Un motor eléctrico que logra la rotación de los elementos de perforación, mientras que el equipo se impulsa mediante bombas hidráulicas. En esencia, el procedimiento implica la perforación descendente de un taladro piloto desde la ubicación superior del equipo, hasta un nivel inferior. El nivel inferior, se hace el respectivo cambio de la broca por un escariador el cual asciende y excava la chimenea mediante corte y cizallamiento, ajustándola al diámetro deseado.

Para llevar a cabo la excavación con este sistema, se requerirá disponer de dos áreas de trabajo: una en la parte superior al inicio de la excavación, y otra terminada la perforación del taladro piloto, en la parte inferior. En otras palabras, este método podrá utilizarse para realizar excavaciones dentro de la mina, ya sea entre dos niveles o desde la superficie hasta algún nivel en interior mina.

2.3.4.3.1. Ventajas

- La construcción aplicando este sistema tiene un avance acelerado en comparación con otros métodos.
- Se pueden construir chimeneas de gran diámetro.

2.3.5. Mecánica de rocas

Es una disciplina teórica y práctica que se enfoca en analizar cómo las rocas responden a las fuerzas aplicadas sobre ellas. Se trata de una rama de la ingeniería y la ciencia que investiga el comportamiento mecánico de estas estructuras naturales, considerando cómo se deforman y reaccionan ante las fuerzas que inciden en su entorno.

2.3.5.1. Propiedades físicas de las rocas

Una propiedad física de una roca es una característica intrínseca y medible que se utiliza para describir y clasificar el comportamiento y las características mecánicas de las rocas. Algunas propiedades físicas comunes de las rocas incluyen:

2.3.5.1.1. Densidad

En el contexto de las rocas, se refiere al contenido de la masa rocosa por unidad de volumen. Puede variar según la composición mineral y la estructura porosa de la roca.

2.3.5.1.2. Porosidad

Propiedad que se relaciona con el volumen de los espacios vacíos o poros presentes en la roca. Es importante para determinar la capacidad de almacenar y transportar fluidos.

2.3.5.1.3. Permeabilidad

Es la medida de la cualidad de la roca para dejar pasar fluidos a través de ella. Está relacionada con la porosidad y es relevante en la exploración de recursos naturales como petróleo y agua subterránea.

2.3.5.1.4. Resistencia

La resistencia es la capacidad de una roca para soportar cargas sin deformarse permanentemente o fracturarse. Se evalúa mediante pruebas de compresión o tracción.

2.3.5.1.5. Dureza

La dureza es la capacidad de una roca para resistir la abrasión y el desgaste superficial. Puede medirse utilizando la escala de Mohs o pruebas de micro dureza.

2.3.5.2. Propiedades mecánicas de las rocas

Son aquellas características que describen el comportamiento de las rocas al aplicar fuerzas externas sobre ellas, son normalmente determinadas en laboratorios. A continuación, se enumeran algunas de las propiedades mecánicas:

2.3.5.2.1. Resistencia a la compresión uniaxial

Es la resistencia de la roca a las fuerzas de compresión aplicadas en una sola dirección. Se mide mediante una prueba de compresión uniaxial, que determina la carga máxima que la roca puede soportar antes de fracturarse.

2.3.5.2.2. Resistencia a la tracción

Es la capacidad de la roca para resistir fuerzas de tracción o tensiones. Algunas rocas son muy débiles en tracción y se rompen con facilidad en esta dirección.

2.3.5.2.3. Resistencia a la flexión

Es la resistencia de la roca a doblarse o flexionarse antes de fracturarse. Esta propiedad es relevante en el diseño de estructuras y elementos estructurales.

2.3.5.2.4. Coeficiente de Poisson

Es una medida de la deformación transversal que ocurre cuando una roca es sometida a fuerzas de compresión uniaxial. Este coeficiente describe la relación entre las deformaciones en las direcciones perpendiculares a la fuerza aplicada.

2.3.5.2.5. Módulo de elasticidad

También conocido como módulo de Young, es una medida de la rigidez de la roca y su capacidad para recuperar su forma original después de ser sometida a una carga.

2.3.6. Geología y sus efectos en voladura

Las rocas exhiben diferentes estructuras secundarias a causa de su formación, edad y la influencia de diferentes eventos geológicos a lo largo del tiempo, lo que afecta su fracturamiento al utilizar explosivos.

2.3.6.1. Estratificación (A)

Planos que separan o dividen las capas o estratos de rocas sedimentarias, ya sea que tengan características similares o diferentes. Estos planos suelen influir en la fragmentación de las rocas.

2.3.6.2. Esquistosidad (B)

Es una característica presente en algunas rocas metamórficas de textura fina a media, donde se observa una tendencia a separarse en láminas delgadas. Estas rocas tienden a romperse con facilidad.

2.3.6.3. Fractura (C)

En las rocas sin desplazamientos, las fracturas se manifiestan en dirección ortogonal o paralela a la dirección de estratificación.

2.3.6.4. Fallas (D)

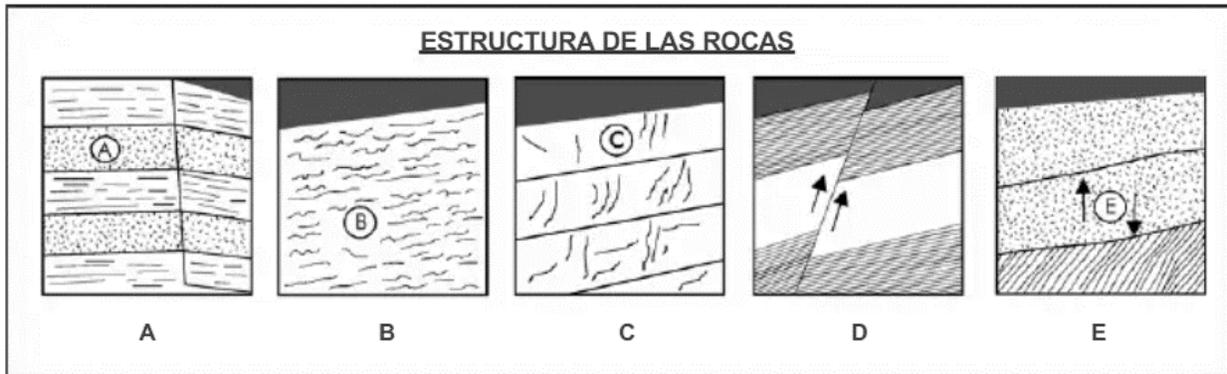
Se trata de fracturas en las que dos bloques se han movido en relación el uno al otro, y estas fracturas a menudo están llenas de material de grano fino, como arcilla, pizarra o minerales valiosos para la industria minera. Durante la perforación, estas fracturas pueden dificultar la penetración y, en algunos casos, trabar las brocas. Además, estas rocas tienden a romperse más fácilmente cerca de los planos de falla asociados a estas fracturas.

2.3.6.5. Contactos (E)

Planos de división que separan estratos o capas de materiales similares o de diferentes tipos de rocas denominados discontinuidades.

Figura 5.

Estructura de Rocas.



Fuente: Manual practico de voladura, EXSA.

2.3.7. Geomecánica

La geomecánica es una disciplina encargada del estudio y análisis del macizo rocoso y el comportamiento de las masas rocosas en procesos constructivos (labores mineras subterráneas, superficiales, túneles, carreteras, etc.).

Esta área de la geomecánica se enfoca en el entendimiento de cómo las rocas responden a las fuerzas y presiones asociadas a la actividad minera, lo que permite diseñar excavaciones seguras y eficientes, y prevenir o mitigar los riesgos geotécnicos.

2.3.7.1. Clasificación de Deere (RQD)

En 1967, Deere introdujo un sistema de diseño de soporte basado en el índice RQD. Este valor se calcula a partir del porcentaje de fragmentos de núcleos de perforación mayores o iguales a 10 cm recuperados en un sondeo, y sirve para evaluar la cantidad de fracturación presente en el macizo rocoso.

$$RQD = \frac{\sum \text{Testigos} \geq 10\text{cm}}{\text{Longitud del testigo (cm)}} \times 100\%$$

Tabla 2.

Calidad de Roca Basado en RQD.

RQD (%)	Calidad de la Roca
<25	Muy mala
25 – 50	Mala
50 – 75	Regular
75 – 90	Buena
90 – 100	Muy buena

Fuente: Rock Quality Designation (RQD), Deere, 1989.

2.3.7.2. Clasificación de Bieniawski

La clasificación geomecánica de Bieniawski, también conocida como clasificación RMR. Es un sistema de evaluación utilizado para categorizar la calidad de una masa rocosa en función de diversos parámetros que afectan su comportamiento mecánico y geológico, estableciendo una relación entre la calidad del macizo, excavación y sostenimiento.

La clasificación RMR considera los siguientes factores geomecánicos:

- A. La resistencia a la compresión simple.
- B. El nivel de fracturación en términos de los valores del RQD.
- C. El espaciamiento de las juntas.
- D. Características de las juntas, como el grado de apertura de la discontinuidad, su continuidad, textura superficial, presencia de relleno y cualquier alteración en las juntas.
- E. Presencia de agua en litros por minuto cada 10 metros de avance.
- F. La dirección de las fracturas con respecto a la estructura de excavación.

Cuadro 2.

Criterios de evaluación y sus respectivos valores.

PARAMETROS		ESCALA DE VALORES							
1	Resistencia de la roca intacta	Bajo carga puntual	>10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Para estos valores es preferible la resistencia a compresión simple		
		A compresión simple	>250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	<1 MPa
	VALOR	15	12	7	4	2	1	0	
2	R.Q.D.	90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%			
	VALOR	20	17	13	8	3			
3	ESPACIADO DE LAS JUNTAS	>2 m	0,6-2 m	200-600 mm	60-200 mm	<60 mm			
	VALOR	20	15	10	8	5			
4	CONDICION DE LAS JUNTAS		Muy rugosas, sin continuidad, cerradas, roca labios sana.	Ligeramente rugosa separación <1 mm, roca labios ligeramente meteorizada.	Ligeramente rugosa separación <1 mm, roca labios muy meteorizada.	Espejo o falla o relleno de espesor <5 mm, o juntas abiertas 1-5 mm, juntas continuas.	Relleno blando de espesor >5 mm, o juntas abiertas >5 mm, juntas continuas.		
	VALOR		30	25	20	10	0		
5	AGUA	FLUJO EN CADA 10 m DE TUNEL, o bien	Ninguno	<10 l/min	10-25 l/min	25-125 l/min	>125 l/min		
		Relación presión del agua en la junta/tensión principal máxima.	0	<0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	>0,5		
		CONDICIONES GENERALES	Completamente seco	Manchas de humedad	Muy húmedo.	Goteo.	Flujo de agua.		
		VALOR	15	10	7	4	0		

Fuente: Clasificación geomecánica RMR. Bieniawski, 1973.

2.3.8. Ventilación en minería subterránea

Consiste en generar un flujo de aire significativo para establecer condiciones ambientales favorables para los trabajadores. Este proceso se logra mediante un circuito de aire que busca mantener condiciones uniformes en todas las áreas de trabajo. Para ello, es esencial que la mina cuente con una entrada y una salida independiente para el flujo de aire (Zitron, 2020).

La ventilación es el proceso que implica la circulación de aire fresco, apropiado para la respiración, con el objetivo de diluir gases, polvo y el aire viciado, no apto para la respiración, presentes en las labores subterráneas. El circuito en la ventilación es fundamental para la

distribución de aire en todas las labores teniendo como objetivo principal el ofrecer condiciones de trabajo óptimo.

La ventilación es determinante en la seguridad de los trabajadores al disminuir o eliminar los peligros de desastres y accidentes en las excavaciones subterráneas, al mismo tiempo que aumenta significativamente la eficiencia en las operaciones (Herrera Herbert, 2019).

Para Herrera Herbert, la ventilación es una herramienta versátil para el mantenimiento de los parámetros adecuados del interior de una mina, las funciones básicas son las siguientes:

- Proporcionar el oxígeno necesario para la respiración.
- Mantener una temperatura apropiada dentro de un espacio de trabajo.
- Diluir y extraer el polvo generado.
- Diluir y extraer gases producido por las operaciones subterráneas.

2.3.8.1. Tipos de ventilación

2.3.8.1.1. Ventilación natural

Es el flujo de aire suministrado dentro de los espacios conocidos como labores mineras, en ausencia de medios mecánicos, por la diferencia de temperatura y diferencia de altitud; fue muy usado en los comienzos de la minería.

2.3.8.1.2. Ventilación mecánica

Consiste en la introducción del aire fresco al interior de una mina mediante el uso de medios mecánicos como los ventiladores, impulsados por un motor, que incrementan la presión del aire para suministrar al interior de la mina o extraer el aire utilizado a través de ductos denominados “mangas de ventilación”.

2.3.8.2. Ventilación principal

La ventilación principal es un sistema crítico en la minería subterránea que se utiliza para garantizar una adecuada distribución de aire en la mina. Además, la ventilación principal debe ser monitoreada continuamente para garantizar su correcto funcionamiento y para detectar cualquier problema en el sistema.

Se compone de una entrada y una salida del aire de la mina. La entrada se coloca en la superficie y la salida se sitúa en el extremo opuesto de la mina. El flujo de aire limpio se introduce en la mina por las vías de entrada establecidas, y el aire viciado y los gases tóxicos se extraen a través de los puntos de salida.

2.3.8.3. Ventilación secundaria

La ventilación secundaria, en minería subterránea, es un sistema complementario al sistema de ventilación principal. Empleado para mejorar la ventilación en áreas específicas de la mina, como en los frentes de trabajo, las áreas de carga y descarga, los talleres, entre otros.

La ventilación secundaria se implementa en situaciones donde solo existe un punto de acceso, y se utilizan mangas de ventilación que deben extenderse desde la entrada hasta el área de trabajo correspondiente (Zitron, 2020).

La ventilación secundaria es importante porque permite controlar la calidad del aire en determinadas áreas de trabajo, reduciendo la concentración de gases tóxicos y polvo. Además, la ventilación secundaria puede ayudar a prevenir la acumulación de gases explosivos y prevenir accidentes.

2.3.9. Aire atmosférico

La atmósfera terrestre contiene una combinación de diversos gases, cada uno con sus propias características. Está compuesto principalmente de nitrógeno, oxígeno, vapor de agua y

en pequeñas cantidades de otros gases como argón, dióxido de carbono, neón, entre otros. En resumen, la composición es la siguiente:

Tabla 3.

Composición del Aire Atmosférico.

	% en volumen	% en masa
Nitrógeno	78.09	75.53
Oxígeno	20.95	23.14
Dióxido de carbono	0.03	0.046
Gases inertes	0.93	1.284

Fuente: Instituto de ingenieros de Minas del Peru, 1989.

2.3.10. Aire de mina

Dentro de una mina, las condiciones del aire experimentan modificaciones significativas. La concentración de oxígeno tiende a disminuir, mientras que el dióxido de carbono aumenta, al igual que la proporción de nitrógeno y la presencia de vapor de agua. Además, se generan partículas de polvo en suspensión y se liberan gases de voladura, lo que contribuye a la complejidad de la calidad del aire en ese entorno.

En el contexto de una mina, se compone de una variedad de componentes, que incluyen CO, CO₂, CH₄, NO, NO₂, SO₂, H₂S y partículas de polvo de mina. Cuando las alteraciones son mínimas, se puede considerar que el aire es similar al aire atmosférico o aire fresco. En contraste, cuando el aire experimenta una contaminación significativa, se le denomina aire viciado o de retorno.

2.3.11. Circuito de ventilación

En minería subterránea se refiere a un sistema o red de conductos y equipos que se utilizan para suministrar y distribuir aire limpio a las áreas de trabajo subterráneas y extraer el aire viciado

fuera de la mina. Este sistema de ventilación tiene como objetivo principal mantener una adecuada calidad del aire en la mina, así como para mantener condiciones ambientales apropiadas para el funcionamiento de la operación minera.

Un circuito de ventilación generalmente incluye los siguientes componentes:

- Punto de ingreso de aire fresco: Es el lugar donde se introduce el aire fresco en el sistema de ventilación, ya sea desde la superficie a través de un ventilador soplante, o desde una ventilación natural como una mina adyacente.
- Conductos de ventilación: Son los conductos que distribuyen el aire fresco a las áreas de trabajo subterráneas. Estos conductos pueden ser de diferentes tipos y tamaños, como conductos principales, secundarios o ramificaciones, y pueden ser de metal, concreto o plástico, dependiendo de las necesidades y condiciones específicas de la mina.
- Barreras de control de aire: Son dispositivos utilizados para controlar y direccionar el aire en el circuito de ventilación. Esto puede incluir compuertas, reguladores de flujo, cortinas de aire u otros dispositivos similares para dirigir el aire hacia las áreas donde se necesita y evitar corrientes de aire no deseadas.
- Equipos de ventilación: Incluyen los ventiladores, ya sean soplantes o aspirantes, que son utilizados para mover el aire a través del circuito de ventilación. Estos ventiladores pueden estar ubicados en la superficie, en las galerías subterráneas o en pozos de ventilación.
- Salidas de aire viciado: Son los puntos de extracción del aire viciado o contaminado fuera de la mina. Estas salidas suelen estar ubicadas en áreas de trabajo donde se generan gases o partículas contaminantes, como zonas de perforación, carguío, acarreo, entre otros.

- **Monitoreo y control:** Un sistema de ventilación en minería subterránea también puede incluir dispositivos de monitoreo y control, como sensores de calidad y medidores de flujo de aire, sistemas de alarmas y sistemas de control automatizado para asegurar un funcionamiento seguro y eficiente.

La configuración de la distribución del aire dependerá de las características específicas de la mina, como su tamaño, ubicación, tipo de mineral, condiciones geológicas y ambientales, y requerimientos de seguridad. Es importante contar con un sistema adecuado y mantenerlo en funcionamiento eficiente para garantizar un entorno de trabajo seguro y saludable.

2.3.12. Tipos de sistemas de ventilación

2.3.12.1. Ventilación soplante

El aire se propulsa hacia interior mina gracias a la presión generada por un ventilador que absorbe aire limpio desde la superficie exterior, utilizando conductos de materiales sintéticos para purificar el aire contaminado y eliminar el polvo que se encuentra en los frentes de trabajo, a través de la labor (Zitron, 2020).

2.3.12.2. Ventilación aspirante

El aire viciado es succionado desde los frentes de trabajo mediante un ventilador ubicado en un determinado punto del conducto de ventilación, generando una presión negativa que extrae el aire contaminado hacia el exterior de la mina, al mismo tiempo que el aire limpio ingresa a través de las labores mineras principales (Zitron, 2020).

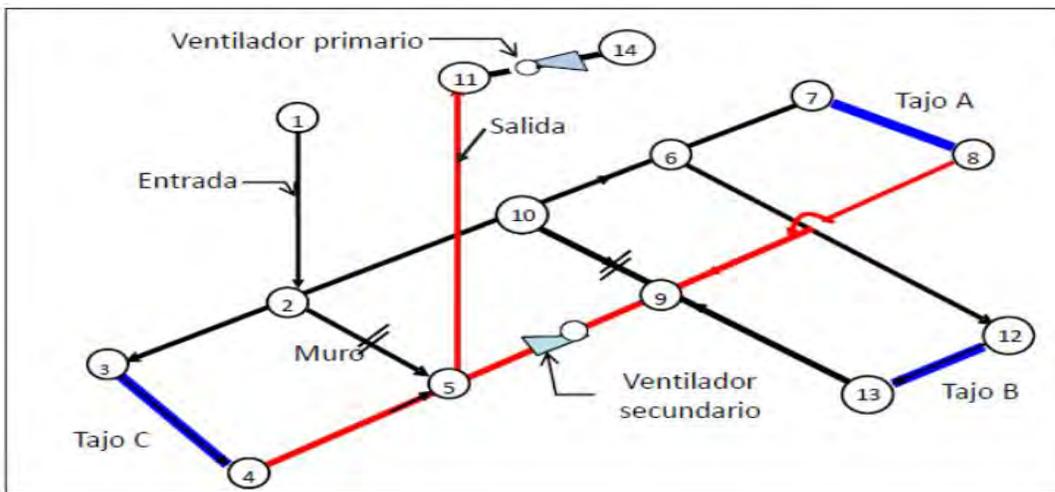
2.3.12.3. Ventilación mixta

Se basa en la unión simultanea de un sistema soplante y un sistema aspirante, lo que requiere la instalación de dos ductos tanto para extraer el aire de los frentes y otro para impulsar el aire fresco a los mismos. Este enfoque presenta ventajas, como una mayor

provisión de aire limpio a los frentes en operación y una sustitución más rápida, pero también conlleva un costo de instalación y mantenimiento más elevado (Zitron, 2020).

Figura 6.

Componentes del Sistema de Ventilación.



Fuente: INTERCADE, 2018.

2.3.13. Diseño del sistema de ventilación

El diseño de un sistema de ventilación subterránea es un proceso que busca garantizar la seguridad y bienestar del personal en la mina, así como optimizar la eficiencia operativa. Para el diseño se consideran los siguientes aspectos:

- **Evaluación del yacimiento:** Comprender la geología y las características del yacimiento es fundamental para determinar las necesidades de ventilación. Se debe tener en cuenta el tamaño de la mina, la ubicación de los frentes de trabajo, la profundidad, el tipo de mineral y la presencia de gases peligrosos.
- **Cálculo de requerimientos de flujo de aire:** Se deben determinar los caudales de aire necesarios para proporcionar una calidad de aire adecuada en todas las áreas de trabajo

y asegurar la dilución y eliminación de gases de mina. Esto se calcula en función del número de trabajadores, la maquinaria utilizada y las dimensiones de los espacios.

- **Definición de los circuitos de ventilación:** Es necesario establecer la red de galerías y túneles que permitirán la circulación del aire en la mina. Se crean circuitos para guiar el flujo de aire desde las entradas hasta las salidas, asegurando una distribución uniforme en todas las áreas.
- **Elección de los ventiladores:** Se seleccionan los ventiladores adecuados en función de los caudales de aire requeridos y las restricciones del espacio. Los ventiladores pueden ser axiales o centrífugos, y su capacidad y potencia deben ajustarse a las necesidades de ventilación específicas.
- **Ubicación estratégica de los ventiladores:** Se instalan en puntos estratégicos a lo largo de toda la red de ventilación para garantizar una distribución efectiva del aire. Esto incluye ubicarlos cerca de las entradas y salidas principales, así como en lugares clave para eliminar gases y polvo.
- **Diseño de sostenimiento y evolución de la red de ventilación:** Se debe prever el sostenimiento adecuado de los túneles y galerías para evitar derrumbes que puedan obstruir el flujo de aire.
- **Monitoreo y control:** Implementar sistemas de monitoreo para medir la calidad del aire, la velocidad del flujo y la presencia de gases peligrosos. Estos sistemas permiten ajustar el diseño según las condiciones cambiantes y garantizar la seguridad.
- **Plan de contingencia:** Es fundamental tener un plan de contingencia en caso de emergencias o fallas en el sistema de ventilación. Esto incluye rutas alternativas de escape y protocolos de acción en situaciones de riesgo.

2.3.14. Características deseables de un sistema de ventilación

Cuando se opta por un sistema, es esencial considerar las siguientes cualidades que se buscan:

- Se busca utilizar preferentemente la bocamina de la mina, como punto de entrada de aire fresco al sistema.
- Es deseable reducir en lo posible las resistencias totales en la mina, con el fin de evitar aumentos en los costos de ventilación.
- Es necesario guiar el aire fresco a través de las labores activas utilizando la ruta más directa posible.
- Se busca reducir al mínimo las fugas y prevenir la recirculación del aire.
- El flujo de aire debe circular primeramente en las áreas donde se trabajan actualmente hacia las zonas ya explotadas.
- Es fundamental que las vías por las que entra y sale el aire se encuentren libres de cualquier obstáculo o bloqueo.

2.3.15. Caudal de aire

El caudal se calcula considerando dos elementos principales: la velocidad y el tamaño de la sección transversal por el que pasa. Este valor representa la cantidad de flujo que se desplaza por unidad de tiempo. Matemáticamente, se obtiene multiplicando la velocidad por el área de la sección correspondiente (Avalos Lloclla, 2021).

2.3.16. Ventiladores

Los ventiladores son dispositivos mecánicos impulsados por un motor que generan el movimiento del aire a lo largo de un sistema, lo que resulta en un aumento de la presión total necesaria para mantener un flujo constante de este fluido. Cada ventilador se caracteriza por su

propia curva de rendimiento, que representa los puntos de operación del dispositivo en relación con diferentes ángulos de ajuste de las aspas. En consecuencia, se obtiene una curva de rendimiento única para cada ángulo de ajuste (Zitron, 2020).

2.3.17. Clasificación de los ventiladores

Se clasifican en tres grupos:

- Ventiladores de hélice.
- Ventiladores axiales.
- Ventiladores centrífugos.

Para cada una de estas categorías, se pueden encontrar diferentes configuraciones de descarga y diversos métodos de impulsión del rotor (Herrera Herbert, 2019).

Según su forma:

Un ventilador puede tener una disposición horizontal o vertical. Los horizontales son los más comunes, aunque los verticales son más recomendables para ciertas aplicaciones, como en el caso de ventiladores utilizados en la minería profunda con caudales considerables. La orientación vertical ayuda a reducir las pérdidas de carga en el sistema al evitar la necesidad de construir codos para dirigir el flujo, lo que, a su vez, implica una menor potencia requerida para la instalación (Herrera Herbert, 2019).

Según la función que va a realizar el ventilador:

- Para la eliminación de aire contaminado. Estos deben estar diseñados para la extracción de aire que puede contener partículas abrasivas, humos de alta temperatura o gases potencialmente explosivos. Por lo tanto, requieren medidas de protección más rigurosas en su conjunto.

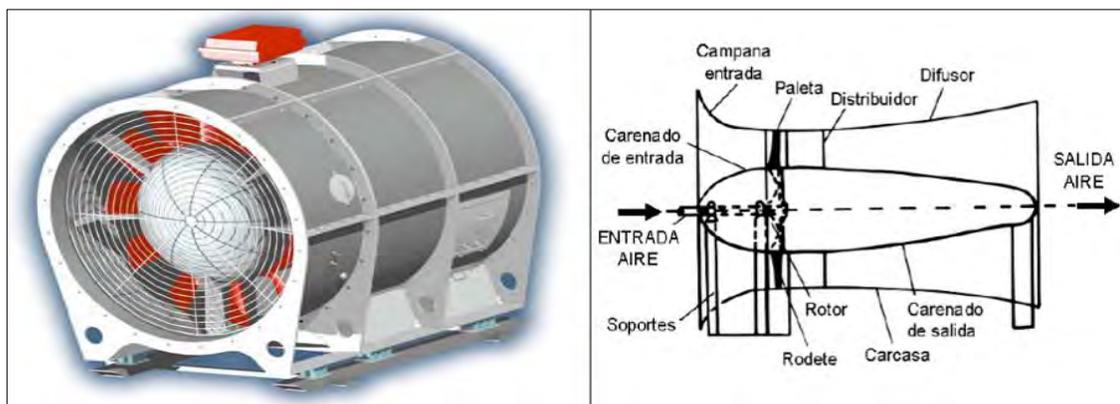
- Para la introducción de aire fresco. En su mayoría, son equipos más simples ya que solo se encargan de mover aire limpio.

2.3.17.1. Ventiladores Axiales

Estos ventiladores se componen principalmente de un rodete colocado dentro de una carcasa cilíndrica. La particularidad de estos ventiladores es que el aire entra y sale en una dirección axial. Están formados principalmente por un rotor impulsado por un motor y equipado con paletas que aceleran el flujo de aire en sentido tangencial (Herrera Herbert, 2019).

Figura 7.

Ventilador Axial.



Fuente: Zitron, 2020.

Según Herrera Herbert, los ventiladores axiales presentan las siguientes características:

- Los ventiladores axiales presentan una mayor eficiencia en diferentes condiciones.
- Tienen mayor rendimiento mecánico que los centrífugos.

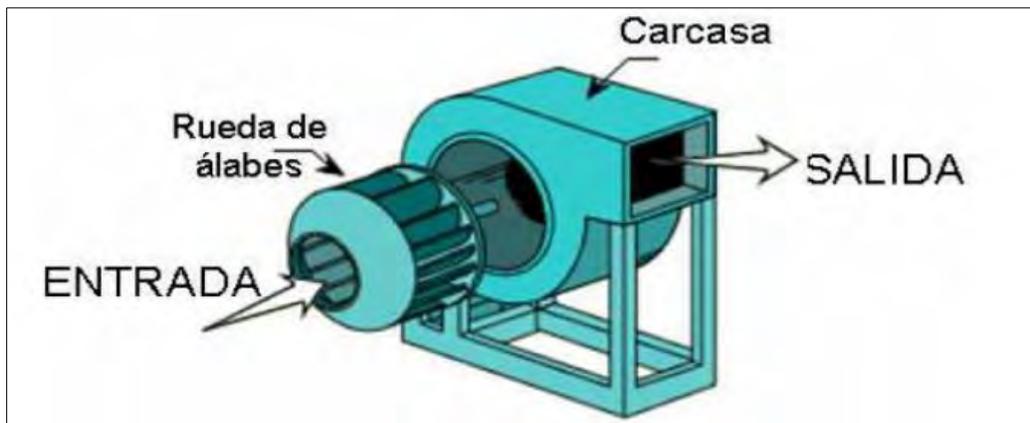
- Respecto a un ventilador centrífugo, un ventilador axial de igual capacidad de presión y flujo necesita menos espacio físico debido a su estructura que facilita el uso de un motor de mayor revolución.
- Puede ajustarse de manera más versátil que un ventilador centrífugo.
- Pueden invertirse cambiando la dirección de giro, aunque con una eficiencia algo menor. Si el motor es trifásico, basta con intercambiar dos de sus bornes para invertir la dirección del flujo.
- Son regulables variando la orientación de las paletas.
- Son ruidosos.
- Son de tamaño compacto y se instalan con facilidad, siendo aptos tanto para la ventilación principal y secundaria.

2.3.17.2. Ventiladores centrífugos o radiales

Funciona con un rotor contenido en una estructura en forma de espiral. El fluido ingresa en la misma dirección axial que el eje y es expulsado hacia fuera contra la carcasa de descarga en una dirección perpendicular al eje de rotación (Herrera Herbert, 2019).

Figura 8.

Ventilador Centrifugo.



Fuente: Zitron, 2020.

2.3.17.3. Ventilador de hélice

Se compone de un rotor alojado en una estructura circular. El flujo de aire generado por este ventilador es en la misma dirección del rotor. Se emplea para desplazar aire en sistemas con una resistencia mínima (Zitron, 2020).

Figura 9.

Ventilador de Hélice.



Fuente: Zitron, 2020.

2.3.18. Ubicación del ventilador

La ubicación del ventilador en minería subterránea depende de varios factores, como la geometría de la mina, la cantidad requerida de aire y la ubicación de las áreas de trabajo.

En general, el ventilador se ubica en la entrada de la mina, en la superficie, y se conecta a la red de ductos que recorre toda la mina. En el caso de la ventilación secundaria, los ventiladores auxiliares se ubican en áreas específicas al interior de la mina donde se requiere una ventilación adicional.

2.3.18.1. Ventilador aspirante en superficie

En el sistema de ventilación aspirante, se emplea un ventilador posicionado en la salida de la mina para eliminar el aire contaminado y los gases nocivos del interior de la mina. Se instala a exteriores de la mina y tiene como objetivo generar una disparidad de presión que facilite la extracción de aire desde la entrada de la mina.

Ventajas:

- Extracción eficiente de contaminantes, ayudando a mantener condiciones de trabajo adecuados, reduciendo su exposición a sustancias nocivas.
- Control de contaminantes en áreas específicas: Esto es útil para áreas de trabajo donde se generan altos niveles de polvo o emisiones, como frentes de trabajo, talleres, o áreas de carga y descarga de material.
- Mayor flexibilidad en la distribución del flujo de aire: Esto permite adaptar la dirección del flujo a las características específicas de la mina y optimizar la eficiencia del mismo.

- Eliminación de gases inflamables o explosivos: Esto es especialmente importante en minas que tienen presencia de gases peligrosos, como metano, que es altamente inflamable.
- No hay circulación de aire viciado.

Desventajas:

- Menor capacidad de control del flujo en comparación con la ventilación soplante. Esto se debe a que la dirección de la circulación es determinada en gran medida por la configuración del sistema de ventilación. Esto puede dificultar la optimización del flujo de aire para adaptarse a las necesidades específicas de la mina y las condiciones cambiantes del entorno.
- Posible ingreso de contaminantes externos: La ventilación aspirante puede permitir el ingreso de contaminantes externos al interior de la mina si no se tiene un control adecuado. Por ejemplo, si la mina se encuentra en una zona con contaminación ambiental, como emisiones de vehículos o polvo en suspensión.
- Mayor demanda de energía en comparación con la ventilación soplante: Esto se debe a que extraer aire desde el interior del socavón requiere un esfuerzo adicional para vencer la resistencia en contra de la corriente natural del aire en la mina.
- Opera con aire viciado, lo que puede generar desgaste o corrosión.
- Mayor complejidad en la gestión y monitoreo en comparación con la ventilación soplante. Esto se debe a que la dirección de la circulación de aire está influenciada por varios factores, como la configuración de la mina, las condiciones geológicas y las condiciones climáticas, lo que requiere una mayor atención y monitoreo para asegurar su eficacia.

2.3.18.2. Ventilador soplante en superficie

En la ventilación soplante, se utiliza un ventilador ubicado fuera de la mina para inyectar aire limpio al interior de la mina. Su función es crear una presión positiva que permita la introducción del flujo desde la entrada hacia el interior de la mina en lugar de extraer el aire viciado como en el caso de la ventilación aspirante.

Para lograr la ventilación soplante, se debe diseñar una red de ductos que conecte el ventilador ubicado en la entrada de la mina con el interior de la mina. Se instalan compuertas y dispositivos de regulación en la red de conductos para gestionar el caudal de aire y su dirección dentro de la mina.

Ventajas:

- **Introducción de aire fresco:** La ventilación de soplado facilita la entrada de aire limpio dentro de la mina, contribuyendo a mantener la calidad del aire en niveles adecuados.
- **Control de la dirección del flujo:** El uso de la ventilación soplante permite un mayor control sobre el direccionamiento del flujo en interior mina.
- **Flexibilidad en el diseño:** el sistema soplante ofrece mayor flexibilidad en el diseño, ya que el ventilador se ubica en la entrada de la mina, lo que permite direccionar según las necesidades específicas de la mina y las condiciones del terreno.

Desventajas:

- **Dificultad en el control del flujo:** Contrariamente a la ventilación aspirante, en la ventilación soplante, debido a que la entrada de aire es desde la superficie hacia el interior de la mina, dificulta el control del flujo en la mina. Esta diferencia puede

tener un impacto en la capacidad de ajustar la ventilación según las necesidades particulares de la mina y las condiciones cambiantes del entorno.

- Posible contaminación del aire en superficie: La ventilación soplante puede expulsar aire contaminado con polvo, gases o vapores desde el interior de la mina hacia la superficie, lo que podría afectar la pureza del aire en la superficie cercana a la salida de la ventilación.
- Mayor complejidad en la instalación y mantenimiento: En los sistemas de ventilación soplante puede ser más compleja en comparación con otros métodos de ventilación.

2.3.19. Costos mineros en la elaboración de precios unitarios

Un costo se refiere al valor monetario o el esfuerzo requerido para adquirir, producir o mantener algo. En términos generales, el costo representa la cantidad de recursos que se sacrifican o se utilizan para obtener un bien o servicio específico.

2.3.19.1. Según su grado de variabilidad

2.3.19.1.1. Costos fijos

Son aquellos que permanecen constantes, sin verse afectados por el volumen de producción. Estos costos no cambian, ya sea que se produzca una cantidad alta o baja de productos.

2.3.19.1.2. Costos variables

Son aquellos gastos que fluctúan o cambian en relación al nivel de producción. Estos costos fluctúan directamente con la actividad operativa de la empresa, es decir, aumentan cuando se produce más y disminuyen cuando se produce menos.

2.3.19.2. Según su asignación

2.3.19.2.1. Costos directos

Son costos que están estrechamente ligados con el proceso productivo, como los costos por mano de obra directa y materiales, y pueden ser fácilmente rastreados y asignados a esa actividad específica.

2.3.19.2.2. Costos indirectos

Costos que no se pueden atribuir directamente al proceso productivo, pero que son esenciales para la finalización del producto o servicio final.

2.3.19.3. Según su comportamiento

2.3.19.3.1. Costo total

El costo total representa la cantidad total de recursos monetarios que se han gastado en la producción, incluyendo costos fijos y costos variables. También se calcula como el costo total unitario multiplicado por la cantidad de unidades producidas.

2.3.19.3.2. Costo unitario

Definido como el costo por unidad de producción, ya sea para el total de la producción o para cada operación o actividad específica. Se calcula dividiendo el costo total entre la cantidad de producción.

CAPITULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación realizada puede ser clasificado: de acuerdo al objeto de estudio; en aplicada de causa y efecto, considerando como causa el diseño y construcción de la chimenea y el efecto es la mejora de la ventilación, según su profundidad; en descriptiva puesto que describe un objeto mediante la recolección de datos históricos para determinar el diseño y calcular los costos de operación y según el tipo de datos; en cuantitativa debido a su enfoque en la recopilación de valores numéricos de campo de manera descriptiva con un vínculo normativo para evaluar y establecer criterios y estándares que guíen el análisis y la interpretación de la información recopilada.

3.2. NIVEL

El nivel de investigación es descriptivo, explicativo y correlacional porque busca describir y explicar de manera correlativa el diseño, posterior construcción de la Chimenea y los beneficios de esta.

3.3. POBLACION Y MUESTRA

Elección de la unidad de muestra no probabilístico, el proyecto de la Chimenea – 017 en la Rampa 440 de la Compañía MACDESA - Arequipa; puesto que será el principal objeto de estudio.

3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.4.1. Técnicas de recolección de datos

Se refieren a los métodos y enfoques utilizados para obtener información y datos específicos con el propósito de realizar análisis, investigaciones, toma de decisiones u otros fines. Estas técnicas varían en función del contexto, el tipo de datos que se desean recopilar y los recursos disponibles. Las técnicas aplicadas en la presente tesis son las siguientes:

Información documental

Se realizó la revisión de información documental como: libros, tesis, artículos e informes técnicos concernientes a estudios de diseño, construcción de chimeneas y ventilación de minas; así mismo se contó con un plano topográfico para una mejor identificación del área a diseñar y construir.

Observación

Mediante la técnica de observación directa que implica examinar fenómenos y situaciones, con el propósito de adquirir datos específicos requeridos para la investigación, se ha obtenido información de la velocidad de aire en los diferentes puntos de entrada y salida.

Prueba estándar

Mediante la técnica de prueba estándar, se llevaron a cabo las mediciones y observaciones necesarias para determinar las propiedades o características de la roca. Esto involucró el mapeo geomecánico y la inspección detallada para comprender las características del sistema de circuito de ventilación en la Rampa 440.

3.4.2. Instrumentos de recolección de datos

Las herramientas especializadas utilizadas para recopilar datos empleadas para obtener información durante un estudio o investigación. Estos instrumentos pueden variar según la técnica de recolección de datos utilizada y el tipo de información que se busca recopilar.

Los instrumentos utilizados son:

Ficha documental

Que es una herramienta utilizada para organizar y registrar la información relevante extraída de documentos durante la investigación.

Cuadernos de campo

Son diarios o registros escritos que han sido utilizados para documentar las observaciones sobre la información obtenida de la medición de velocidades de aire.

Ficha laboratorial

Utilizado para registrar sistemáticamente la información recopilada durante un trabajo de laboratorio.

3.4.3. Procesamiento de la información

Se emplearon herramientas de software para configurar los parámetros de construcción de la chimenea 017, realizar una evaluación de costos y llevar a cabo el análisis del flujo de aire en la Rampa 440 como parte del procesamiento de la información.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. IDENTIFICACIÓN DEL ÁREA PARA LA EJECUCIÓN DE LA CHIMENEA 017.

Determinar el área para la construcción de una chimenea en una mina subterránea es un proceso técnico que involucra varios factores de seguridad, logística y diseño como:

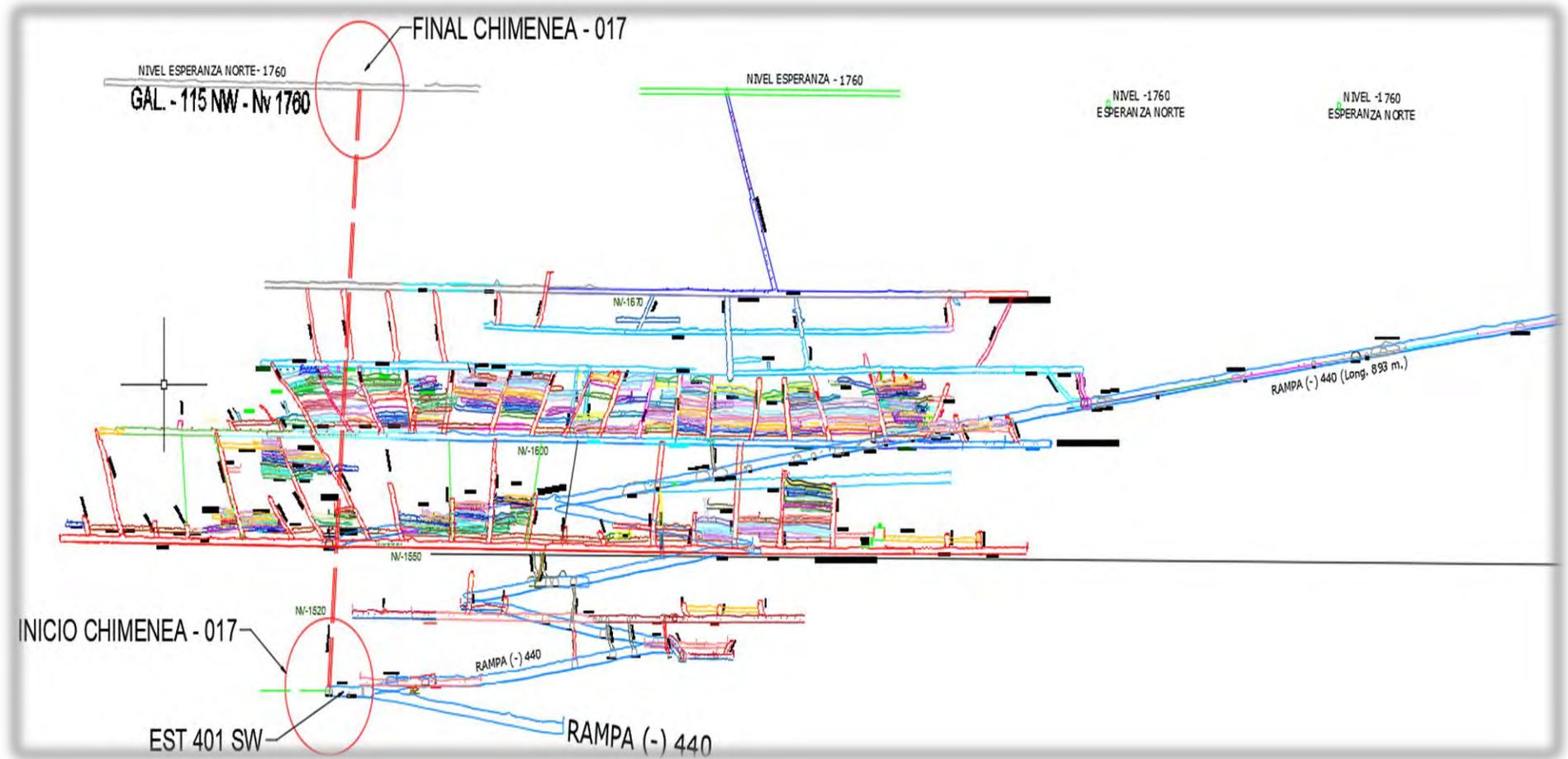
- Realizar un estudio geotécnico y geológico para comprender la naturaleza de las rocas y la estabilidad del terreno donde se planea construir la chimenea. Esto es fundamental para garantizar la seguridad de la construcción.
- Evaluar la viabilidad de construir la chimenea en términos de acceso, transporte de materiales, mano de obra y otros factores logísticos.
- Seleccionar una ubicación que optimice la ventilación, la distribución de aire fresco y la evacuación de gases nocivos, depende de la topografía.

La deficiencia de la ventilación en los niveles inferiores 1550, 1520 y 1490 de la Rampa 440 de la Compañía MACDESA obliga a brindar una solución en la ventilación para mediano y largo plazo. Actualmente la explotación se concentra en los niveles 1600 y 1550; a mediano plazo la explotación también estará en el nivel 1520 y progresivamente en otros niveles inferiores, lo que demandará mayores necesidades de aire fresco.

Considerando algunas condiciones importantes el lugar adecuado para la construcción de la Chimenea es a partir de la Estocada 401 SW, que está ubicada en el nivel 1490 de la Rampa 440 hasta la Galería 115 NW en el nivel 1760. Debido a que la chimenea 017 será más beneficioso cuando esta se ejecute lo más cerca posible del tope de la Rampa 440.

Figura 10.

Ubicación de la Chimenea-017.



Nota. Adaptada del plano topográfico Rampa 440. Área de topografía Compañía MACDESA.

4.2. MÉTODO DE CONSTRUCCIÓN DE LA CHIMENEA 017

Según el reglamento, se requiere que la perforación de chimeneas convencionales con una longitud superior a 20 metros se realice mediante 02 compartimentos independientes: uno destinado al desplazamiento del personal y otro designado como área de espera. Se exceptúan de esta norma las chimeneas construidas con un sistema mecanizado. En el caso de chimeneas diseñadas en forma de "H", se debe establecer interconexiones con subniveles cada 20 metros como parte del procedimiento.

Para cumplir con la construcción mediante el método convencional, generalmente se limita a una longitud de hasta 50 metros de chimenea. Para longitudes mas largas, este método se vuelve costoso, de baja eficiencia y requiere un mantenimiento constante. Cuando se necesitan chimeneas de más de 50 metros y que llegan a alcanzar los 100 metros, se opta por construir chimeneas gemelas o "en H". Estas chimeneas gemelas consisten en chimeneas simples con un solo compartimento, separadas por una distancia de promedio de 15 metros y conectadas entre sí por un subnivel cada 20 metros.

La Compañía Minera Raura S.A. considera que el método más apropiado para la construcción de chimeneas, es con plataformas Alimak. Este sistema permite construir chimeneas de considerable longitud en un período de tiempo notablemente reducido. Aunque el costo por avance es prácticamente equivalente que, en el método convencional, la ventaja radica en que la ejecución se realiza en menos de la mitad del tiempo, lo que lo convierte en una alternativa más rentable que el método tradicional (Vílchez Córdova & Vílchez Córdova, 2015).

Cuadro 3.

Cuadro Comparativo Entre Métodos de Construcción de Chimeneas.

	Sistema RB	Sistema RC	Convencional
Ventajas	Niveles de seguridad elevados. Costos significativos. Altos requerimientos.	Niveles de seguridad elevados. Costos relativamente asequibles. Requisitos intermedios.	Niveles de seguridad bajos. Costos elevados. Requisitos mínimos.
Desventajas	Necesidad de un espacio amplio para la instalación	Tiempo de instalación	Velocidad de avance reducido
Aplicación	Este método es rápido, pero limitado porque produce chimeneas circulares en lugar de las necesarias de forma rectangular o cuadrada en el interior de la mina.	Elegimos este método por su adecuación en tamaño, espacio y costos.	Este método se considera menos eficiente debido a sus altos costos y riesgos para el personal. Por lo tanto, se aplica únicamente en las etapas iniciales de la minería.

Fuente: Navarro Romero,2020.

La construcción con plataformas Alimak es una técnica de construcción vertical que implica el uso de una plataforma de trabajo que se mueve hacia arriba y hacia abajo por un sistema de guías verticales. Esta plataforma se utiliza para transportar materiales y trabajadores a lo largo de la estructura en construcción, lo que permite una construcción más rápida y eficiente en comparación con los métodos convencionales.

Según las conclusiones de un estudio comparativo entre el método convencional, método semi mecanizado Raise Climber y mediante el sistema Raise Boring, se determina que la construcción con plataforma Alimak se adecua de mejor manera a las condiciones y características que presenta la Compañía MACDESA.

En el contexto particular de la construcción de chimeneas utilizando la plataforma Alimak, es posible construir chimeneas de considerables dimensiones en un lapso de tiempo moderadamente breve. A pesar de que el costo por metro avanzado es prácticamente el mismo que

en comparación con el sistema convencional, el período de ejecución se reduce a menos de la mitad. Además, este método de construcción con la plataforma Alimak proporciona una mayor seguridad para los trabajadores, dado que elimina la necesidad de utilizar escaleras y andamios, reduciendo de esta manera el riesgo de caídas y otros incidentes laborales.

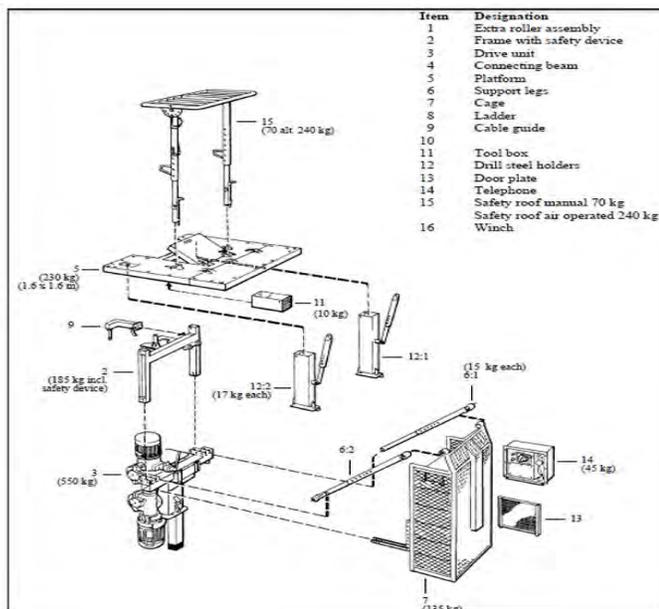
4.2.1. Plataforma trepadora STH - 5E.

STH-5E de accionamiento eléctrico

- Área en chimenea vertical : 7 metros cuadrados.
- Alcance máximo de la chimenea : 900 metros.
- Rapidez al ascender con motor : 18m/min.
- Rapidez al descender por gravedad : 30m/min.
- Capacidad del motor : 10 HP.

Figura 11.

Características - Alimak STH-5E



Fuente: Manual de instrucciones de Linden-Alimak.

4.2.1.1. Componentes básicos

Unidad propulsora

La unidad de propulsión de este equipo funciona mediante un sistema eléctrico que utiliza piñones que engranan con la cremallera interna del carril guía, a través de rodillos. Además, cuenta con un freno de control y un freno que controla la rapidez de la plataforma durante su descenso por efecto de la gravedad.

Armazón o Chasis

Estructurado por una serie de rodillos junto con mecanismos de seguridad que incluyen un freno automático, activado cuando la velocidad de descenso de la plataforma supera el límite establecido previamente.

Plataforma

Construida con acero que funciona como área de trabajo para el equipo de trabajadores, con la particularidad de contar con una sección frontal que puede ser doblada, una escotilla de acceso y soportes diseñados para las herramientas de perforación.

Techo protector

Este dispositivo, conocido como "guarda cabezas", está fabricado en acero y se compone de dos soportes montados en la plataforma. Además, cuenta con una sólida cubierta de acero de estructura enmallada que actúa como una barrera protectora para los trabajadores, previniendo así posibles caídas de rocas.

Jaula

Esta jaula se utiliza para transportar a los trabajadores desde la base de la chimenea hasta el frente de trabajo y de regreso. La jaula se encuentra suspendida de la plataforma en

la parte inferior, lo que permite que pueda inclinarse para adaptarse a una chimenea que tenga una pendiente.

Tambor de enrollamiento

Se trata de un tambor automatizado que funciona mediante aire comprimido y que libera o recoge el cable eléctrico conforme al requerimiento de longitud al desplazar la plataforma.

Válvula múltiple

Se trata de una válvula de doble función que regula tanto el suministro de aire como de agua para ejecutar la perforación.

Bomba de alta presión

Compuesto por un conjunto de pistones que operan una polea, este sistema proporciona agua para la perforación en caso de tener presión insuficiente cuando la chimenea aumenta de altura.

Trepador de servicio (Alicab)

Este dispositivo de propulsión sigue el mismo concepto que la plataforma trepadora y se instala debajo de la plataforma, utilizado para el traslado de materiales entre la el frente de trabajo y la cámara en la base de la chimenea evitando el ascenso y descenso de los trabajadores.

Cabezal de perforación

Se refiere a un sistema que se encarga de distribuir tanto agua como aire a las perforadoras.

Cabezal de disparo

Este sistema se instala en la extremidad del riel para resguardarlo de posibles daños causados por explosiones.

Sistema de guiado o rieles

- Carriles rectos, de servicio, de seguridad y curvos.
- Topes o ángulos.
- Espaciadores.
- Pernos de expansión y pernos galvanizados.
- Tuercas.

4.2.1.2. Componentes adicionales

Frenos de la plataforma

Este sistema se compone de un conjunto de zapatas que, al activarse, regulan la velocidad del motor. Por lo general, hay tres sistemas de frenos independientes en funcionamiento. El sistema Alimak está equipado con un freno de mando, un mecanismo de frenado para descenso por gravedad y un paracaídas GA5 que entra en funcionamiento de forma automática al sobrepasar la velocidad límite establecida.

Radios

Tienen como finalidad establecer una comunicación efectiva entre los trabajadores sobre la plataforma de trabajo y la estación del Alimak.

Tablero de mando

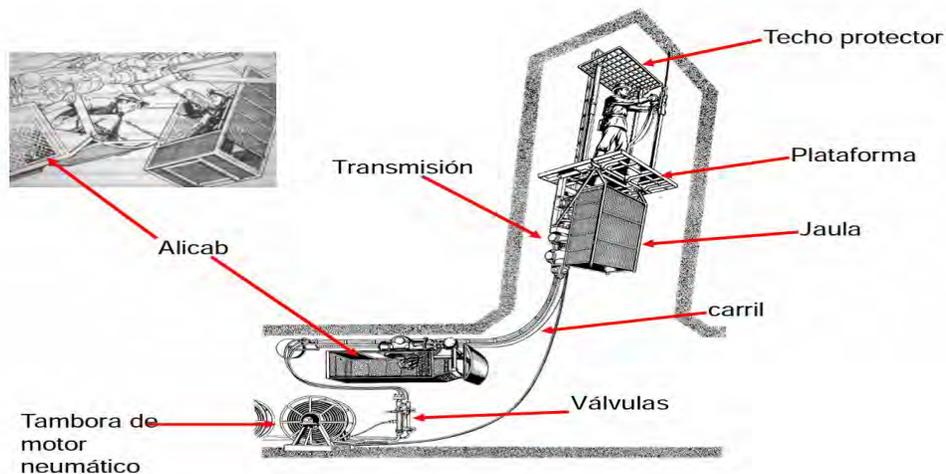
Este dispositivo debe ubicarse en las proximidades de la plataforma Alimak y consiste en controles para activar y desactivar la alimentación eléctrica.

Regulador automático de tensión

Durante la excavación, es complicado conseguir el voltaje adecuado para el motor eléctrico a causa de la pérdida de voltaje a lo largo de la longitud del cable. Esta disminución de tensión puede ocasionar problemas de encendido del motor a distancias mayores, por lo que se requiere la instalación de un elevador de tensión.

Figura 12.

Componentes de la Plataforma Trepadora Alimak



Fuente: Manual de instrucciones de Linden-Alimak.

4.3. INDICE DE CALIDAD DE ROCA RQD

Es una medida cuantitativa utilizada en ingeniería para evaluar la resistencia y estabilidad de una formación rocosa. Este índice se emplea para evaluar la resistencia de una roca en función de su capacidad para resistir cargas y deformaciones sin experimentar fallos o colapsos.

El RQD generalmente se expresa en una escala numérica o clasificación que indica la resistencia relativa de la roca.

Figura 13.

Evaluación del RQD de Testigos.



Nota. Adaptada del Área de geología, Compañía MACDESA.

Cuadro 4.

Logueo de Testigos BQ, Zona Rampa.

LOGUEO. LONGITUD: 64.30 METROS														
Nº de Caja	CORIIDA INFERIOR (m)	CORIIDA SUPERIOR (m)	LONGITUD (m)	LONGITUD DE PARTES ≥ 10 cm								SUMA DE LONG. ≥ 10 cm	RQD	POND.
60	167.75	169.00	1.25	19	20	12	19	10				0.80	64%	0.800
60	169.00	170.50	1.50	18	11	18	14	11				0.72	48%	0.720
61	170.50	172.00	1.50	17	28	20	30	17				1.12	75%	1.120
61	172.00	173.50	1.50	16	53	36	15					1.20	80%	1.200
62	173.50	174.90	1.40	26	16	22	14	13	31			1.22	87%	1.220
62	174.90	176.50	1.60	11	18	19	15	11	11			0.85	53%	0.850
63	176.50	177.90	1.40	20	13	22						0.55	39%	0.550
63	177.90	179.50	1.60	22	22	12	21	34	13			1.24	78%	1.240
64	179.50	181.00	1.50	32	27	15	13	15	15	16	17	1.50	100%	1.500
64	181.00	182.35	1.35	12	26	22	12					0.72	53%	0.720
65	182.35	183.95	1.60	13	17	18	12	29				0.89	56%	0.890
65	183.95	185.50	1.55	12	24	27	12	42				1.17	75%	1.170
66	185.50	187.00	1.50	25	20	12	17	36				1.10	73%	1.100
66	187.00	188.50	1.50	13	32	15	40					1.00	67%	1.000
67	188.50	190.00	1.50	18	24	38	17	12				1.09	73%	1.090
67	190.00	191.50	1.50	34	51	11	13	33				1.42	95%	1.420
68	191.50	192.90	1.40	20	40	32	26	12				1.30	93%	1.300
68	192.90	194.40	1.50	47	44	11	12					1.14	76%	1.140
69	194.40	196.00	1.60	18	27	36	20	27				1.28	80%	1.280

69	196.00	196.85	0.85	19								0.19	22%	0.190	
70	196.85	198.45	1.60	42	13	22	16	18				1.11	69%	1.110	
70	198.45	200.05	1.60	13	45	13	28	17	29			1.45	91%	1.450	
71	200.05	201.65	1.60	29	15	29	11	33	15	15		1.47	92%	1.470	
71	201.65	203.25	1.60	34	22	37	21	33				1.47	92%	1.470	
72	203.25	204.85	1.60	50	60	50						1.60	100%	1.600	
73	204.85	206.45	1.60	59	60	35						1.54	96%	1.540	
73	206.45	208.85	2.40	19	44	14	20	33	11	14		1.55	65%	1.550	
74	208.85	210.30	1.45	31	40	17	17	40				1.45	100%	1.450	
74	210.30	211.70	1.40	10	12	14	15	13	59			1.23	88%	1.230	
75	211.70	213.25	1.55	15	12	41	57					1.25	81%	1.250	
75	213.25	214.75	1.50	38	39	21	28	21				1.47	98%	1.470	
76	214.75	215.85	1.10	33	57	20						1.10	100%	1.100	
76	215.85	217.35	1.50	18	33	60	21					1.32	88%	1.320	
77	217.35	218.95	1.60	54	56	26	15					1.51	94%	1.510	
77	218.95	220.55	1.60	14	18	58	40					1.30	81%	1.300	
78	220.55	222.15	1.60	34	31	19	58	15				1.57	98%	1.570	
78	222.15	223.65	1.50	56	58	36						1.50	100%	1.500	
79	223.65	224.65	1.00	10	11	13	34					0.68	68%	0.680	
79	224.65	226.25	1.60	14	15	18	12	32	39	11		1.41	88%	1.410	
80	226.25	227.15	0.90	60	13	11						0.84	93%	0.840	
80	227.15	229.40	2.25	60	68	37	40	19				2.24	100%	2.240	
81	229.40	230.95	1.55	21	18	42	60					1.41	91%	1.410	
81	230.95	232.05	1.10	20	30	23						0.73	66%	0.730	
Subtotal			64.30											Subtotal	51.700

RQD PONDERADO	80%
----------------------	-----

Fuente: Área de Geología, Compañía MACDESA.

4.4. CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR SEGÚN BIENIAWSKI

En este estudio, se ha empleado el método de clasificación geomecánica RMR (Rock Mass Rating) desarrollado por Bieniawski en 1989 para evaluar la calidad del macizo rocoso. Los parámetros necesarios para esta clasificación se determinaron mediante el mapeo geomecánico y utilizando los datos recopilados por el departamento de geología.

4.4.1. Caracterización geomecánica del macizo rocoso – zona Rampa

Figura 14

Valoración del Macizo Rocos Rampa 440.

PARÁMETRO		RANGO DE VALORES Y VALORIZACIONES						VALORACIÓN	
RESISTENCIA CARGA PUNTAL		>10 MPa (15)	X 4-10 MPa (12)	2-4 MPa (7)	1-2 MPa (5)	<1MPa (0)	1	12	
RQD (%)		90-100 (20)	X 75-90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)	2	17	
ESPACIAMIENTO (m)		>2 (20)	0,6-2 (15)	X 0,2-0,6 (10)	0,06-0,2 (8)	<0,06 (5)	3	10	
CONDICIÓN DE JUNTAS	PERSISTENCIA	<1m long. (6)	X 1-3 m Long. (4)	3-10mm (2)	10-20 m (1)	>20 m (0)	4A	4	
	APERTURA	Cerrada (6)	X <0.1mm apert (5)	0.1-10mm (4)	1-5 mm (1)	>5 mm (0)	4B	5	
	RUGOSIDAD	Muyrugosa (6)	X Rugosa (5)	Lig.rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	4C	5	
	RELLENO	Limpia (6)	X Duro < 5mm (4)	Duro>5mm (2)	Suave <5 mm(1)	Suave >5 mm (0)	4D	4	
	ALTERACIÓN	Sana (6)	Lig.Alterada. (5)	X Mod.Alterad (3)	Muy Alterada.(2)	Descompuesta (0)	4E	3	
AGUA SUBTERRÁNEA		X Seco (15)	Humeda (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	5	15	
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =							75		
CLASE DE MACIZO ROCOSO									
RMR		100-81	80-61	60-41	40-26	25-0			
DESCRIPCIÓN		I MUJ BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUJ MALA			

Fuente: Área de Geología, Compañía MACDESA.

Figura 15

Valoración del Macizo Rocos Galería 115 NW.

PARÁMETRO		RANGO DE VALORES Y VALORIZACIONES						VALORACIÓN	
RESISTENCIA CARGA PUNTAL		>10 MPa (15)	X 4-10 MPa (12)	2-4 MPa (7)	1-2 MPa (5)	<1MPa (0)	1	12	
RQD (%)		90-100 (20)	X 75-90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)	2	17	
ESPACIAMIENTO (m)		>2 (20)	0,6-2 (15)	X 0,2-0,6 (10)	0,06-0,2 (8)	<0,06 (5)	3	10	
CONDICIÓN DE JUNTAS	PERSISTENCIA	<1m long. (6)	X 1-3 m Long. (4)	3-10mm (2)	10-20 m (1)	>20 m (0)	4A	4	
	APERTURA	Cerrada (6)	<0.1mm apert (5)	X 0.1-1.0mm (4)	1-5 mm (1)	>5 mm (0)	4B	4	
	RUGOSIDAD	Muyrugosa (6)	Rugosa (5)	X Lig.rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	4C	3	
	RELLENO	Limpia (6)	X Duro < 5mm (4)	Duro>5mm (2)	Suave <5 mm (1)	Suave >5 mm (0)	4D	4	
	ALTERACIÓN	Sana (6)	Lig.Alterada. (5)	X Mod.Alterad (3)	Muy Alterada. (2)	Descompuesta (0)	4E	3	
AGUA SUBTERRÁNEA		X Seco (15)	Humeda (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	5	15	
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =							72		
CLASE DE MACIZO ROCOSO									
RMR		100-81	80-61	60-41	40-26	25-0			
DESCRIPCIÓN		I MUJ BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUJ MALA			

Fuente: Área de Geología, Compañía MACDESA.

4.4.2. Calidad del macizo rocoso de la Estocada 401 SW de la Rampa 440

Para determinar la calidad de la roca en la Estocada 410 SW de la Rampa 440 se han tomado en cuenta los siguientes parámetros:

- Espaciamiento entre fracturas: referido a la cantidad y el tamaño de las fracturas de la masa rocosa. Es posible realizar una estimación de la calidad de la roca mediante la observación directa de la misma y el empleo de herramientas como el martillo geológico.
- Calidad de la fractura: Este parámetro se refiere a la calidad de las fracturas en la roca, es decir, su apertura, rugosidad y continuidad.
- Presencia de agua: Referido a la cantidad y ubicación del agua en la masa rocosa. Puede ser determinado a través de la observación directa de la roca y el uso de herramientas como un medidor de humedad.

Tomando en cuenta estos parámetros el análisis de campo se ha determinado la valoración de la calidad de roca, de CLASE II; Cuanto mayor es el índice de RMR, mejor será la calidad del macizo rocoso. En cuanto a la presencia de agua, es escaso y/o nula.

4.5. DISEÑO DE LA CHIMENEA 017

El diseño de una chimenea en minería subterránea es un procedimiento de ingeniería a través del cual se planifica y desarrolla la estructura, dimensiones, ubicación y características necesarias para la construcción de un conducto vertical o inclinado con el propósito de lograr funciones específicas, como chimenea de ventilación para el caso de la chimenea 017. El diseño de una chimenea en minería subterránea involucra consideraciones geomecánicas, de seguridad, de flujo de aire, de estabilidad estructural y de cumplimiento normativo para garantizar la eficiencia y la seguridad operacional en un ambiente subterráneo.

4.5.1. Ubicación de la chimenea 017

La construcción de la chimenea 017 iniciara en la Estocada 410 SW del nivel 1490, ubicado en la Rampa 440, en las coordenadas UTM 618377.73 E – 8265040.38 N. La chimenea comunicara a la Galería 115 NW en el nivel 1760, con coordenadas UTM 618413.04 E – 8265078.48 N.

Cuadro 5.

Ubicación de la Chimenea 017

Nivel (msnm)	Labor	Coordenadas UTM	
		E	N
1760	Gal-115 NW	618413.04	8265078.48
1490	Est-410 SW	618377.73	8265040.38

Fuente: Elaboración propia del autor.

Figura 16

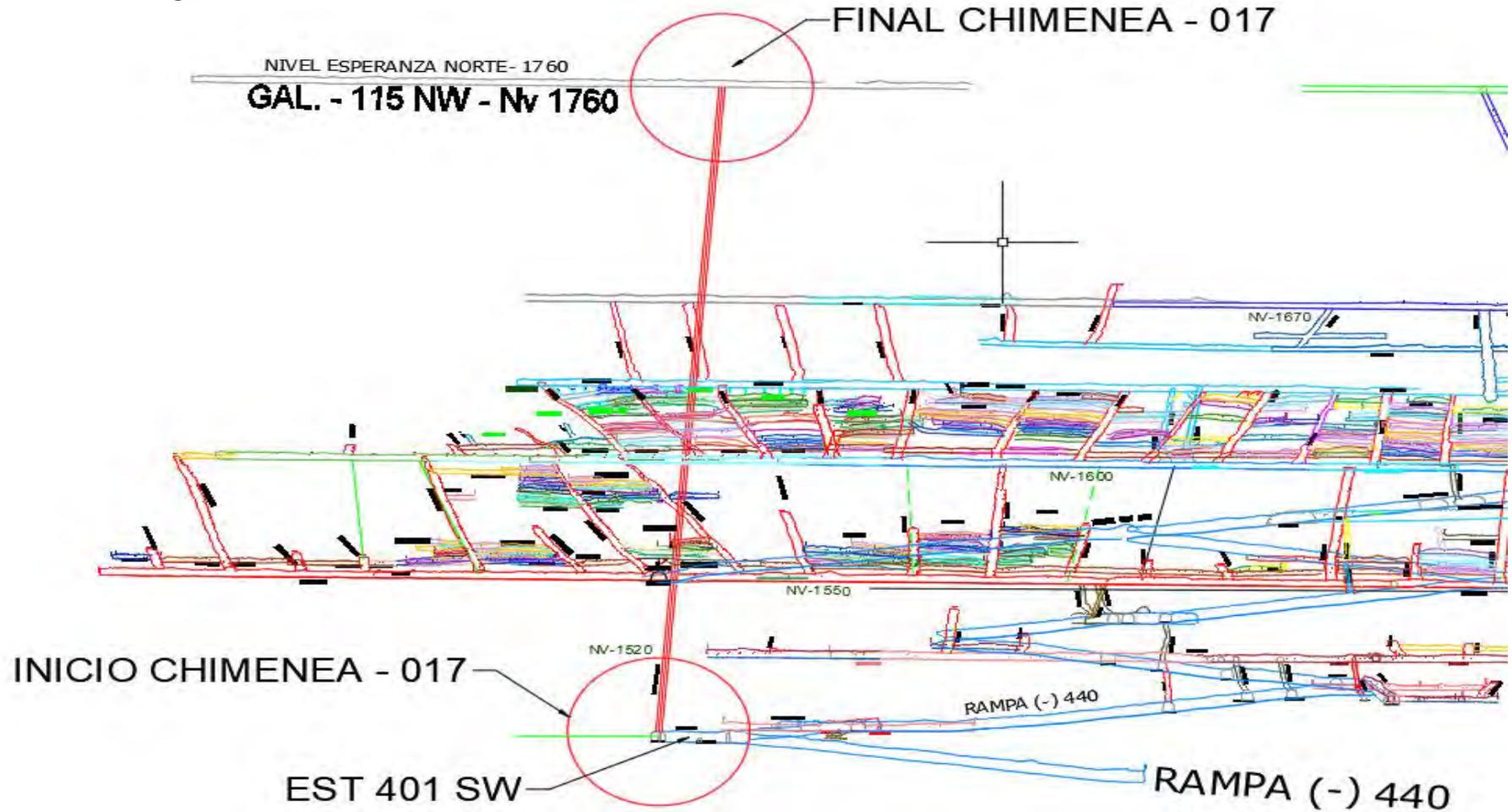
Ubicación de Chimenea 017. Vista en Planta.



Nota. Adaptada del plano topográfico Rampa 440. Área de topografía Compañía MACDESA.

Figura 17.

Sección Longitudinal de la Ubicación de la Chimenea – 017.



Nota. Adaptada del plano topográfico general, Área de topografía Compañía MACDESA.

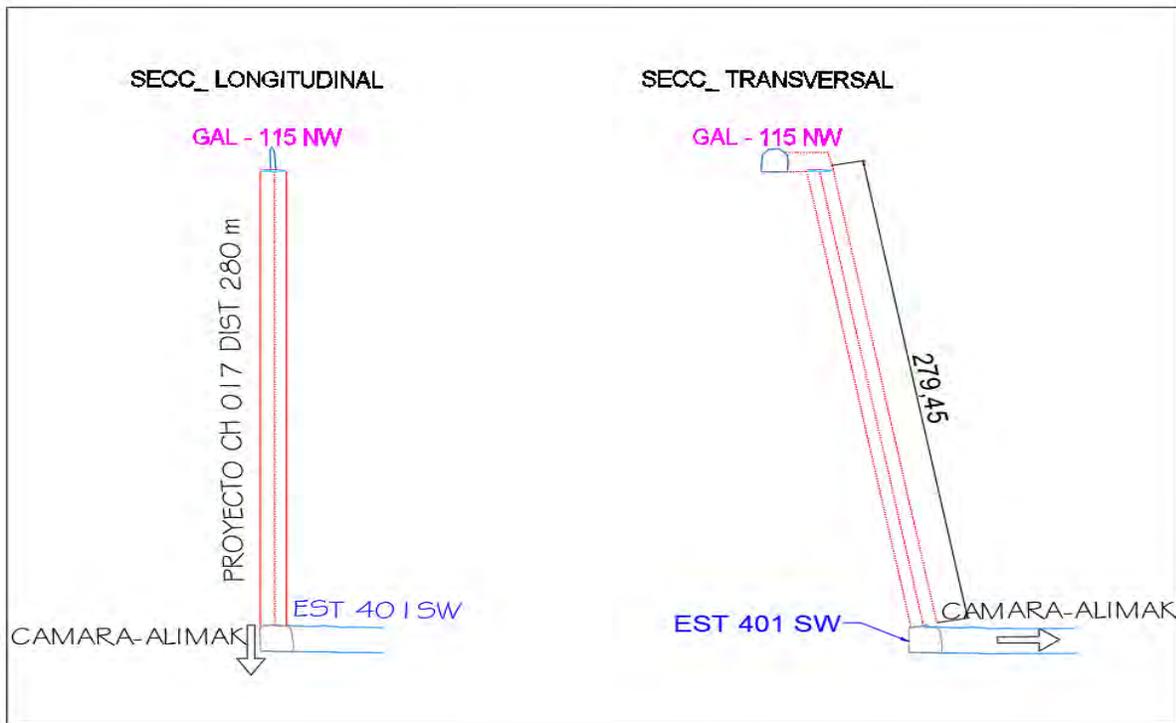
4.5.2. Longitud e inclinación de la Chimenea - 017.

La longitud más corta entre los niveles 1760 y 1490 puede variar dependiendo de la dirección de la labor. Generalmente, la longitud más corta entre dos niveles es la distancia perpendicular entre ellos, sin tener en cuenta las curvas o desvíos del camino.

La longitud directa y perpendicular aproximada de la chimenea, desde la EST-401 SW hasta la GAL-115 NW, es de 280m. y la inclinación que corresponde a la chimenea 017 es de 80° respecto a la horizontal.

Figura 18.

Sección Transversal y Longitudinal Chimenea – 017.



Nota. Adaptada del plano topográfico general. Área de topografía Compañía MACDESA.

4.5.3. Sección de la Chimenea - 017

El flujo de aire que circula a través de las labores, está determinado por la sección de la labor y la velocidad del flujo ($Q=V \times A$). La sección de la chimenea se mantendrá constante mientras que el caudal de aire puede aumentar o disminuir de acuerdo al requerimiento de la mina con ventiladores de diferentes capacidades.

Capacidad Ventilador Q (CFM)	V máx. del flujo (m/min)	Conversión pies a metros	Eficiencia ventilador	Capacidad Ventilador Q (m ³ /min)
40000	250	0.3048	90%	1019.41

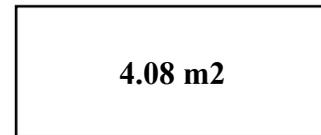
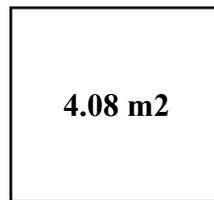
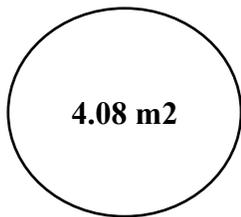
La sección de la chimenea está determinada por el caudal suministrado por el ventilador y la velocidad máxima del flujo según el reglamento.

$$A=Q/V$$

$$A=(1019.41 \text{ m}^3/\text{min})/(250 \text{ m}/\text{min})$$

$$A=4.08 \text{ m}^2$$

Considerando las condiciones mencionadas la sección adecuada para la construcción de la chimenea, de utilidad exclusiva para la ventilación, es de 4.08 m² de sección cuadrada o su equivalente de sección circular.



La sección crítica de la chimenea 017 está determinado por las dimensiones de la plataforma trepadora Alimak STH-5E (1.60 x 1.60 m), en efecto la sección de la chimenea deberá tener una sección cuadrada de 2 x 2 m para facilitar el desplazamiento de la plataforma minimizando costos operativos.

4.5.4. Parámetros de diseño de la chimenea - 017

Los parámetros de diseño para la construcción de la Chimenea – 017 son:

- Longitud aproximada : 280 m.
- Sección : Sección cuadrada de 2x2m o sección circular de 4m².
- Inclinación : 80°
- Tipo de roca : II

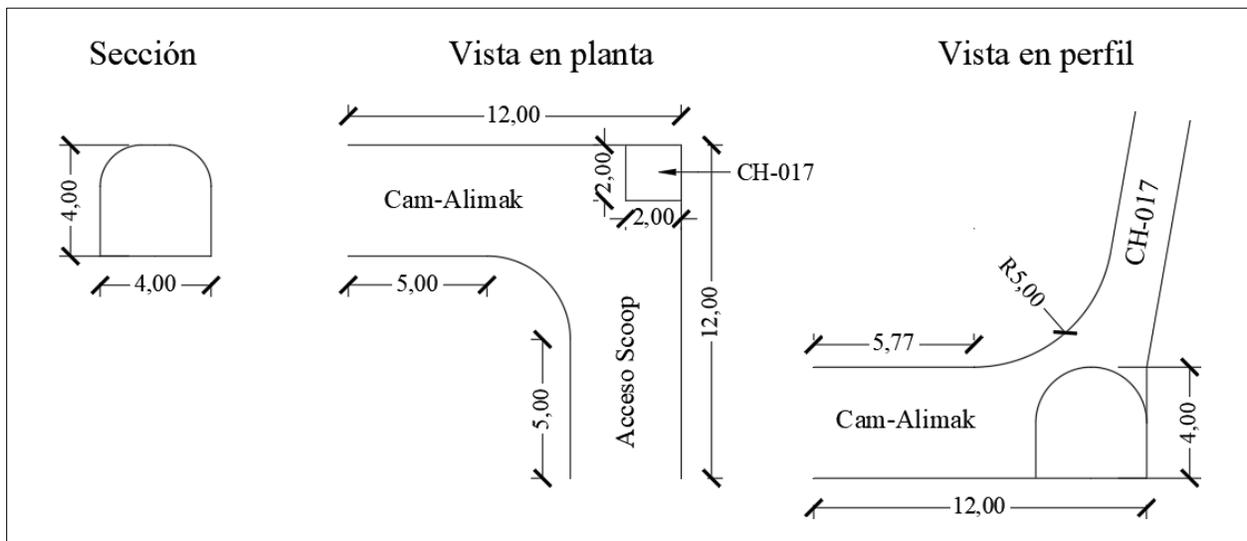
4.6. ETAPAS EN LA CONSTRUCCIÓN CON PLATAFORMA ALIMAK

4.6.1. Cámara para el Alimak

La Cámara será la infraestructura que albergará las instalaciones de la plataforma trepadora Alimak, componentes auxiliares. Además, funcionará como el punto de acceso para la subida y bajada del personal a la jaula. Asimismo, se utilizará este espacio para llevar a cabo las tareas de mantenimiento y reparación del equipo.

Figura 19.

Cámara Para la Plataforma Alimak.



Fuente: Construcción de Túneles, Piques y Chimeneas, Salinas, 1998.

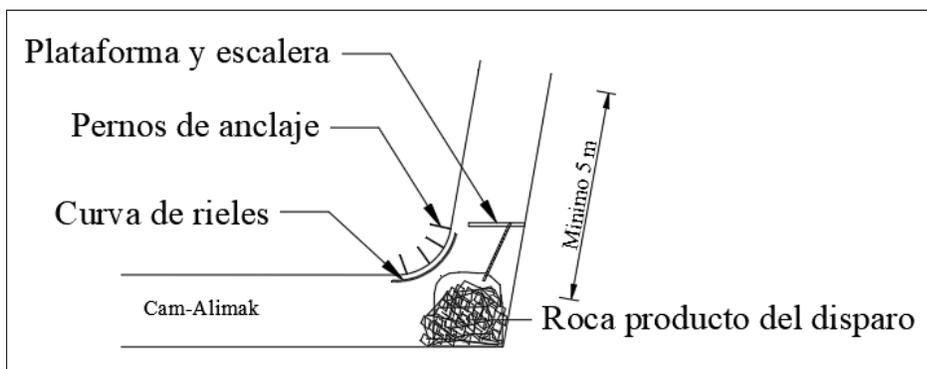
4.6.2. Construcción de la chimenea piloto

Es la excavación preliminar de la chimenea de manera convencional, con la sección definida por los parámetros de la chimenea y deberá tener una longitud mínima de 5 m, y deberá cumplir con los siguientes objetivos:

- Determinar topográficamente la inclinación de la chimenea.
- Instalar los rieles curvos de la parte inferior de la chimenea, con el fin de movilizar la jaula trepadora Alimak desde la cámara hacia el frente de trabajo en posición vertical o subvertical.
- Instalar el riel inicial reforzado en la ubicación de partida de la chimenea, siguiendo la orientación final de azimut e inclinación, asegurando así la estructura de rieles.

Figura 20.

Construcción de Chimenea Piloto Inicial.



Fuente: Construcción de Túneles, Piques y Chimeneas, Salinas, 1998.

4.6.3. Excavación de la chimenea

Una vez finalizada la fase de construcción de la chimenea piloto y la instalación de la curva de rieles, así como la plataforma Alimak en el sistema de guía, se procederá a iniciar la excavación utilizando la plataforma.

4.6.4. Desmontaje

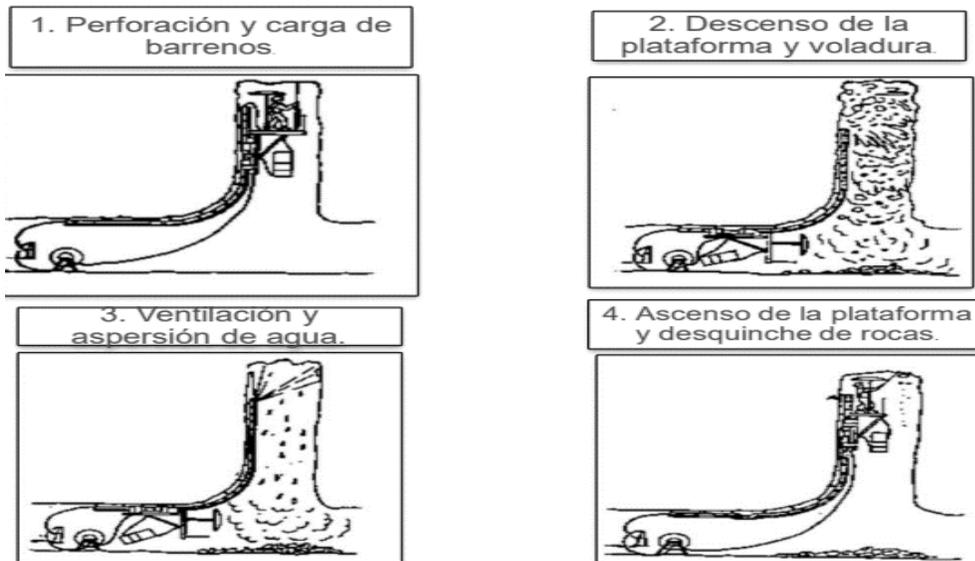
Una vez finalizada la construcción de la chimenea, se lleva a cabo una exhaustiva revisión de seguridad. A continuación, se inicia el proceso de desmontaje de los rieles desde la parte superior. La mayoría de las partes se pueden recuperar en buen estado y reutilizarlas en futuras chimeneas. Sin embargo, se realiza una inspección detallada de las piezas que puedan mostrar signos de deterioro para su posterior reparación o desecho.

4.7. CICLO DE EXCAVACIÓN

La excavación de la chimenea - 017 se ejecutará con la plataforma STH-5E Alimak de propulsión eléctrica, el trabajo estará dividido en 2 guardias por día compuesto por un grupo de 5 trabajadores por guardia.

Figura 21.

Ciclo de Excavación.



Fuente: Construcción de Túneles, Piques y Chimeneas, Salinas, 1998.

4.7.1. Perforación y carguío de taladros

La operación de perforación se realizará con la perforadora neumática Stoper utilizando juegos de barrenos de 2', 4', 6' y 8' y brocas de 38 mm.

Los cartuchos de Emulnor, junto con sus accesorios correspondientes, serán introducidos en los taladros. Estos taladros estarán conectados a una línea de disparo compuesta por cordones detonantes que se activan mediante fulminantes eléctricos.

4.7.2. Descenso de la plataforma y voladura

Después de cargar los taladros con explosivos, antes de realizar la voladura, es necesario que la plataforma descienda de la chimenea por gravedad, evitando el uso de la propulsión eléctrica debido al riesgo de una posible detonación. Esto se hace con el propósito de proteger tanto el equipo como a los trabajadores de posibles caídas de rocas provocadas por la explosión. Una vez que el personal y los equipos han evacuado el frente de trabajo, se procede a conectar el dispositivo detonante y se lleva a cabo la voladura.

El material roto por la voladura caerá naturalmente al punto de partida de dicha labor debido a la fuerza de la gravedad, a la EST-401 SW, para posterior limpieza con el Scoop LH 410.

4.7.3. Ventilación y regado

Después de cada disparo, es necesario llevar a cabo una ventilación eficiente y humedecer la chimenea utilizando aire comprimido y agua, controlados a través de una válvula múltiple.

4.7.4. Ascenso de la plataforma y desatado de rocas

Completada la ventilación y el regado de la chimenea, la plataforma asciende con los trabajadores para realizar el desatado de rocas sueltas del techo y las paredes.

Después del desatado de rocas sueltas y asegurarse de que el área esté segura, se procede a instalar el siguiente tramo del carril guía que posibilita la subida y bajada de la plataforma. Estos rieles se sujetan con pernos de anclaje utilizando una máquina perforadora Jack Leg, y así se continúa con el ciclo de excavación.

4.8. DISEÑO DE MALLA DE PERFORACIÓN Y VOLADURA

4.8.1. Diseño de malla de perforación

En minería subterránea se utilizan diferentes mallas de perforación y depende de:

- La sección del frente.
- Tipo de roca.
- Tipo de explosivo.
- Granulometría del material disparado.

Los esquemas de perforación en chimeneas generalmente tienen como componentes al arranque, las ayudas y los desquinces. Los arranques sirven para crear una nueva cara libre, las ayudas tienen la función de ampliar la cara libre y los desquinces definen la sección final de la labor.

Para la construcción de la chimenea 017 se usará el arranque paralelo el cual se basa en la perforación de taladros paralelos a las paredes de la chimenea.

4.8.1.1. Cálculo teórico de las dimensiones del arranque con el modelo matemático de Konya

En los arranques normalmente se dejan varios taladros sin cargar, a estos se les denomina taladros de alivio, que deben ser representados como un único taladro equivalente al volumen de todos los taladros de alivio. Se calcula con la siguiente fórmula:

$$D_H = d_h \sqrt{N}$$

Donde:

D_H : Diámetro equivalente de un sólo taladro vacío (mm).

d_h : Diámetro de los taladros vacíos (mm).

N : Número de taladros vacíos.

$$D_H = 38\sqrt{4}$$

$$D_H = 76\text{mm.}$$

Cálculo del burden (B1). – Los primeros taladros perforados, después del taladro de alivio, se ubican a una distancia B1 desde el centro, y la distancia o radio medida desde el centro se designa como R.

$$B1 = 1.5 \times D_H$$

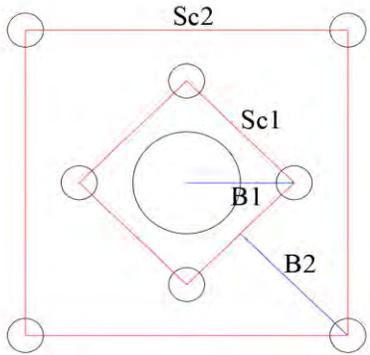
$$B1 = 1.5 \times 76 \text{ mm}$$

$$B1 = 114 \text{ mm.}$$

$$B1 = R1$$

Figura 22.

Diseño del Burden.



Fuente: Elaboración propia del autor.

Cálculos simplificados. - Sc representa el espaciamiento entre taladros dentro de un cuadro.

Tabla 4.

Parámetros de Diseño

	1	2	3	4
B	1.50 DH	2.12 DH	4.50 DH	9.54 DH
R	1.50 DH	3.18 DH	6.75 DH	14.31 DH
Sc	2.12 DH	4.50 DH	9.54 DH	20.23 DH
T	1.50 DH	1.06 DH	2.25 DH	4.77 DH

Fuente: Manual de voladura Konya.

Tabla 5.

Resultados de Cálculos de Diseño (milímetros).

DH	76 mm			
mm	1	2	3	4
B	114.00	161.12	342.00	725.04
R	114.00	241.68	513.00	1087.56
Sc	161.12	342.00	725.04	1537.48
T	114.00	80.56	171.00	362.52

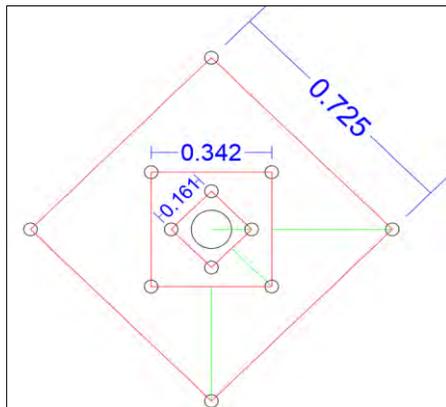
Tabla 6.

Resultados de Cálculos de Diseño (metros).

D_H	76 mm			
Metros	1	2	3	4
B	0.114	0.161	0.342	0.725
R	0.114	0.242	0.513	1.088
Sc	0.161	0.342	0.725	1.537
T	0.114	0.081	0.171	0.363

Figura 23.

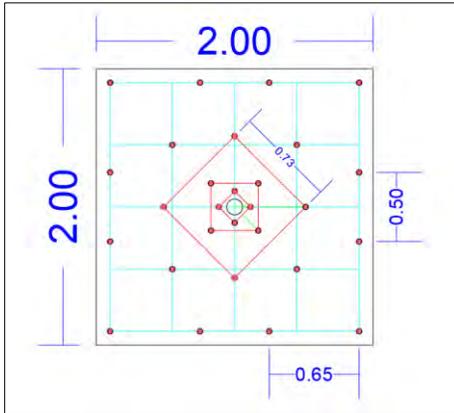
Diseño del Tercer Cuadrante



Fuente: Elaboración propia del autor.

Figura 24.

Diagrama de Perforación y Voladura.



Fuente: Elaboración propia del autor.

4.8.1.2. Cálculo teórico del número de taladros

$$N_t = P/Dt + (c \times S)$$

Donde:

N_t : cantidad de taladros.

P : perímetro del frente.

Dt : distancia entre taladros.

c : factor de roca.

S : área transversal del frente.

Tabla 7.

Espaciamiento de los Taladros.

Espaciamiento (Dt)	Tipo de roca
0.50 - 0.55	Roca dura
0.60 - 0.65	Roca intermedia
0.70 - 0.75	Roca suave

Fuente: Área de geología Compañía MACDESA.

Tabla 8.

Coeficiente o Factor de Roca

Factor de roca (C)	Tipo de roca
2.00	Roca dura
1.50	Roca intermedia
1.00	Roca suave

Fuente: Área de geología Compañía MACDESA.

Para la sección de la chimenea será de 2 x 2 m. en roca dura:

$$P = 2 \times 4 = 8$$

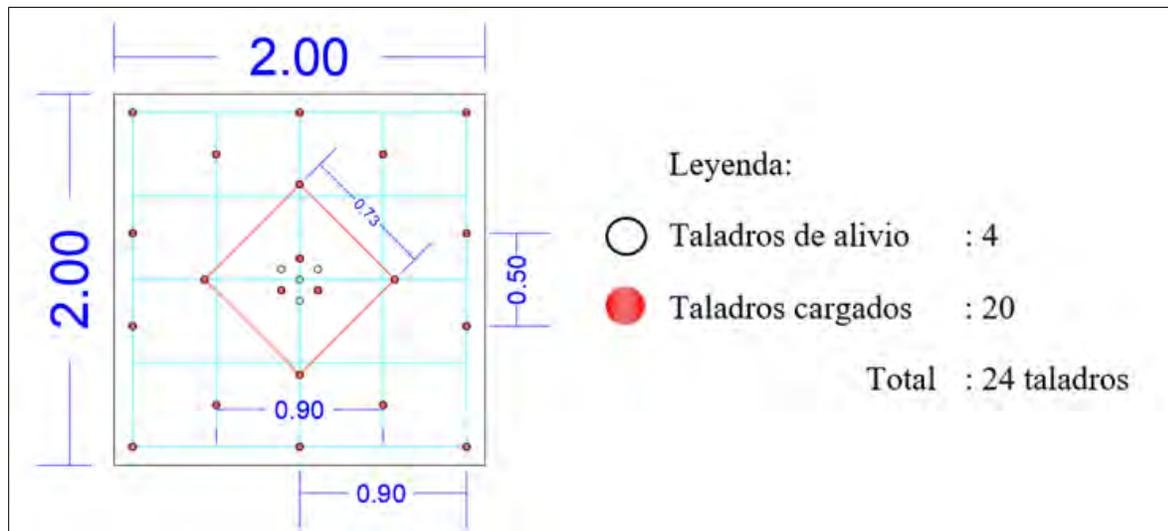
$$S = 2\text{m} \times 2\text{m} = 4\text{m}^2$$

$$Nt = 8 / 0.50 + (2 \times 4)$$

$$Nt = 24 \text{ tal/dis}$$

Figura 25.

Distribución de Perforación y Voladura.



Fuente: Elaboración propia del autor.

4.8.1.3. Eficiencia de perforación

Es la relación porcentual entre la longitud promedio del taladro perforado y la longitud del barreno.

$$\text{Eficiencia de perforación} = \text{LT/LB} \times 100$$

$$\text{LT} = 2.20\text{m.}$$

$$\text{LB} = 8\text{pies} \times 0.3048 = 2.44\text{m}$$

$$\text{Eficiencia de perforación} = 2.20/2.44 \times 100$$

$$\text{Eficiencia de perforación} = 90.16\%$$

4.8.1.4. Eficiencia por disparo

Es la relación porcentual entre la longitud de avance real obtenido y la longitud promedio del taladro perforado.

$$\text{Eficiencia por disparo} = \text{LD/LT} \times 100$$

$$\text{LD} = 1.98 \text{ m.}$$

$$\text{LT} = 2.20\text{m}$$

$$\text{Eficiencia por disparo} = 1.98/2.20 \times 100$$

$$\text{Eficiencia por disparo} = 90.00\%$$

4.8.2. Máquinas de perforación y accesorios

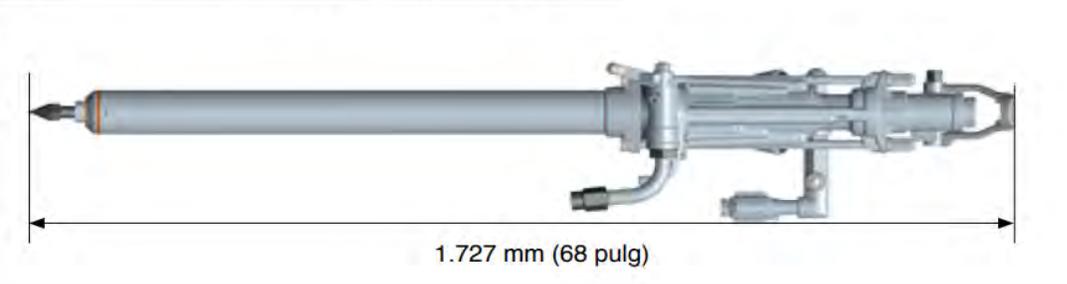
4.8.2.1. Maquinas perforadoras

Para llevar a cabo la perforación de la chimenea en cuestión, se utilizarán maquinas perforadoras Stoper SECO S250 con barra de avance neumático.

Cuadro 6.

Características – Perforadora Stoper.

Stoper		
Peso	Sistema métrico	Sistema EE. UU.
Con silenciador	42,2 kg	93 lb
Sin silenciador	41,3 kg	91 lb
Pata neumática estándar		
Peso	15,5 kg	34 lb



1.727 mm (68 pulg)

Fuente: Perforadoras neumáticas manuales, Atlas Copco.

Cuadro 7.

Mangueras de Suministro Stoper.

	Sistema métrico	Sistema EE. UU.
Aire	25 mm	1 pulg
Agua	12 mm	1/2 pulg

Fuente: Perforadoras neumáticas manuales, Atlas Copco.

Para la perforación horizontal de taladros tanto para el colocado de carriles y sostenimiento, se utilizará la perforadora neumática Jack Leg SECO S250 y barra de avance.

Cuadro 8.

Características - Jack Leg

Jackleg y pata neumática opcional		
Peso (menos pata neumática)	Sistema métrico	Sistema EE. UU.
Con silenciador	42,2 kg	93 lb
Sin silenciador	41,3 kg	91 lb

Largo estándar de la pata neumática		
Peso	15,5 kg	34 lb



Fuente: Perforadoras neumáticas manuales, Atlas Copco.

Cuadro 9.

Mangueras de Suministro Jack Leg

	Sistema métrico	Sistema EE. UU.
Aire	25 mm	1 pulg
Agua	12 mm	1/2 pulg

Fuente: Perforadoras neumáticas manuales, Atlas Copco.

Cuadro 10.

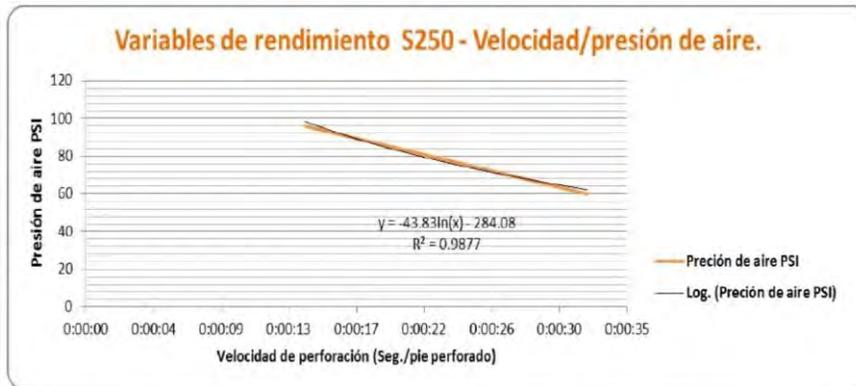
Barra de Avance Neumático

	Sistema métrico	Sistema EE. UU.
Diámetro interno	68 mm	2.677 pulg
Largo de carrera	1.295 mm	51 pulg
Empuje	230 kg a 6,2 bar	506 lb a 90 psi

Fuente: Perforadoras neumáticas manuales, Atlas Copco.

Figura 26.

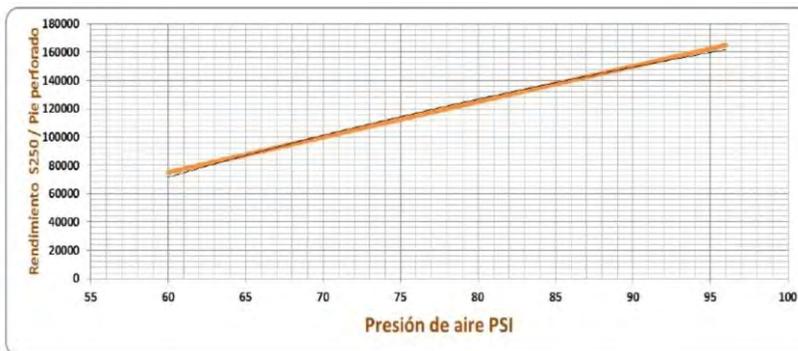
Rendimiento de las Perforadoras Jack Leg y Stoper



Fuente: Perforadoras neumáticas manuales, Atlas Copco.

Figura 27.

Performance S250 / Calidad de Aire



Fuente: Perforadoras neumáticas manuales, Atlas Copco.

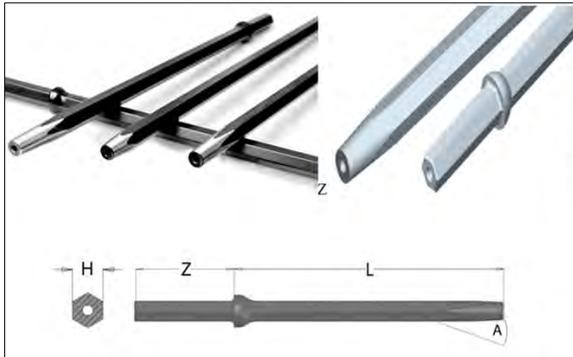
4.8.2.2. Accesorios

Barra de perforación. - En la perforación de la chimenea 017 se utilizarán las barras de perforación hexagonal debido a la mayor rigidez.

Las barras transmiten el golpe y la rotación hasta las brocas que entran en contacto con la roca para triturarla, dichas barras poseen un orificio central para suministrar agua con el objetivo de evacuar los detritos y refrigerar la broca.

Cuadro 11

Características Técnicas de las Barras Cónicas de Perforación



Longitud		Peso (Kg)
Pies	m	
2.00	0.61	2.40
4.00	1.22	4.20
6.00	1.83	5.90
8.00	2.44	7.70

Fuente: Aceros de perforación, Atlas Copco.

Brocas .- Se emplearán brocas cónicas con botones que se fijan mediante presión en las barrenos de perforación. Estas brocas están hechas de acero de alta calidad y aleación de carburo de tungsteno. Estas brocas son más adaptables a diferentes tipos de rocas.

Cuadro 12.

Brocas de 36 y 38 mm



Diametro mm	Longitud mm	Nº de Botones	Agujero para lavado		Peso (Kg)
			Lateral	Centro	
36	50	7	1	1	0.3
38	50	7	1	1	0.3

Fuente: Aceros de perforación, Atlas Copco.

4.9. VOLADURA

4.9.1. Emulnor

Se trata de una emulsión explosiva contenida en un cartucho de envoltura plástica que combina características de seguridad, potencia, resistencia al agua y una alta calidad en la generación de gases de voladura.

Cuadro 13.

Tipos de Emulnor y Usos

EMULNOR 500	EMULNOR 1000	EMULNOR 3000	EMULNOR 5000
Rocas muy suaves	Rocas suaves a intermedias	Rocas intermedias a duras	Rocas muy duras

Fuente: Página web, Famesa explosivos.

Cuadro 14.

Características Técnicas Emulnor

	EMULNOR® 500	EMULNOR® 1000	EMULNOR® 3000	EMULNOR® 5000
Densidad relativa (g/cm ³)	0,90 ± 0,15	1,13 ± 0,1	1,14 ± 0,1	1,16 ± 0,1
Velocidad de confinado *	4 400 ± 300	5 800 ± 300	5 700 ± 300	5 500 ± 300
detonación (m/s) s/confinar **	3 500 ± 300	4 500 ± 300	4 400 ± 300	4 200 ± 300
Presión de detonación (kbar)	44	95	93	88
Energía (kcal/kg)	628	785	920	1010
Volumen normal de gases (l/kg)	952	920	880	870
Potencia relativa en peso (%) (***)	70	87	102	112
Potencia relativa en volumen (%) (***)	77	120	142	159
Sensibilidad al fulminante	Nº 8	Nº 8	Nº 8	Nº 8
Resistencia al agua	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
Categoría de humos	Primera	Primera	Primera	Primera

Fuente: Página web, Famesa explosivos.

Cuadro 15.

Presentación

	Material de caja	Capacidad de caja (Pza.)	Peso neto (kg)	Peso bruto (kg)	Dimensiones exteriores (cm)
EMULNOR® 500 1" x 7"	Cartón	318	25,0	26,5	38,6 x 45,6 x 26,2
EMULNOR® 500 1" x 8"	Cartón	294	25,0	26,5	38,6 x 45,6 x 30,0
EMULNOR® 1000 1" x 7"	Cartón	264	25,0	26,5	38,6 x 45,6 x 26,2
EMULNOR® 1000 1" x 8"	Cartón	230	25,0	26,5	38,6 x 45,6 x 26,2
EMULNOR® 1000 1" x 12"	Cartón	150	25,0	26,5	34,2 x 47,5 x 30,0
EMULNOR® 3000 1" x 7"	Cartón	260	25,0	26,5	38,6 x 45,6 x 26,2
EMULNOR® 3000 1" x 8"	Cartón	228	25,0	26,5	38,6 x 45,6 x 26,2
EMULNOR® 3000 1" x 12"	Cartón	144	25,0	26,5	34,2 x 47,5 x 30,0
EMULNOR® 5000 1" x 7"	Cartón	246	25,0	26,5	38,6 x 45,6 x 26,2
EMULNOR® 5000 1" x 8"	Cartón	216	25,0	26,5	38,6 x 45,6 x 26,2
EMULNOR® 5000 1" x 12"	Cartón	142	25,0	26,5	34,2 x 47,5 x 30,0

Fuente: Página web, Famesa explosivos.

4.9.2. Factor de carga

Tabla 9.

Datos Generales de la Chimenea – 017.

Parámetros	Cantidad	Unidad
Sección de la chimenea	2 x 2	m2
Longitud de la barra	8	pies
Número de taladros cargados	20	Unid
Taladros no cargados	4	Unid
Densidad de la roca	2.43	Ton/m3
Peso del explosivo / Cartucho	0.174	Kg
Longitud del explosivo / Cartucho	12	Pulg.
Diámetro del explosivo / Cartucho	1	Pulg.
Número de cartuchos por taladro	6	Unid

Fuente: Elaboración propia del autor.

Tabla 10.

Resumen de los Parámetros Calculados.

Parámetros	Cantidad	Unidad
Longitud del barreno	8	pies
Eficiencia de perforación	90.16	%
Longitud efectiva del taladro	2.20	metros
Eficiencia de voladura	90	%
Avance por disparo	1.98	metros

Fuente: Elaboración propia del autor.

Cálculo del factor de carga.

$$\text{N}^\circ \text{cartuchos/disparo} = \frac{6 \text{cart}}{\text{tal}} \times \frac{20 \text{tal}}{\text{disp}}$$

$$\text{N}^\circ \text{cartuchos/disparo} = 120 \text{ cart/dispar}$$

$$\text{Kg de explosivo/disparo} = \frac{120 \text{cart}}{\text{disp}} \times \frac{0.174 \text{ Kg}}{\text{cart}}$$

$$\text{Kg de explosivo/disparo} = 20.88 \text{ Kg/dispar}$$

$$\text{Volumen excavado/disparo} = \text{seccion} \times \text{avance/dispar}$$

$$\text{Volumen excavado/disparo} = 2 \times 2 \times 1.98 \text{ m}^3/\text{disp}$$

$$\text{Volumen excavado/disparo} = 7.92 \text{ m}^3 / \text{disp}$$

$$\text{Factor de carga} = \frac{20.88 \text{Kg/dispar}}{7.92 \text{ m}^3/\text{disp}}$$

$$\text{Factor de carga} = 2.64 \text{ Kg/m}^3$$

Tabla 11.*Resumen de Cálculos*

	Cantidad	Unidad
N° Cartuchos/disparo	120	Cart/disp
Kg explosivo/disparo	20.88	Kg/disp
Volumen excavado/ disparo	8	m3/disp
Factor de carga	2.64	Kg/m3

Fuente: Elaboración propia del autor.**Tabla 12.***Distribución de Carga en Taladros Perforados.*

Taladros	N° Tal.	N° Fanel	Cart/tal	Cart/grupo
Alivios	4			
Arranques	3	1	6	18
Ayudas	4	3	6	24
Ayudas	4	5	6	24
Cuadradores	5	7	6	30
Esquinas	4	9	6	24
TOTAL	24			120

Fuente: Elaboración propia del autor.**4.9.3. Detonador no eléctrico**

El FANEL se destaca por su eficacia y seguridad, ya que proporciona una sincronización libre de riesgos al eliminar la posibilidad de conexiones incorrectas, lo que lo convierte en un sistema altamente efectivo y seguro.

4.9.3.1. Tipos

- FANEL - Periodo corto (MS).
- FANEL - Periodo largo (LP).

4.9.3.2. Componentes:

4.9.3.2.1. Fulminante de retardo

Este elemento incluye un fulminante con un explosivo primario altamente sensible, un explosivo secundario de gran poder rompedor, y un mecanismo de retardo ajustable.

4.9.3.2.2. Manguera Fanel

El cartucho está hecho de materiales termoplásticos muy resistentes mecánicamente con un contenido de una sustancia reactiva. Cuando se activa esta sustancia, genera ondas de choque que tiene la presión y la temperatura necesarias para iniciar el fulminante de retardo. Esta manguera se identifica por su color, siendo rojo para el período corto (MS) y de color amarillo para el período largo (LP).

4.9.3.2.3. Etiqueta

El número de serie de la Manguera Fanel indica el tiempo de retardo, expresado en milisegundos o segundos.

4.9.3.2.4. Conector plástico tipo J

Se trata de un conector de plástico cuyo objetivo es fijar una unión firme y garantizar la transmisión de energía entre la manguera y el cordón detonante. El color del conector facilita la identificación del tipo de retardo.

Tabla 13.*Accesorios de Voladura.*

Accesorio	N°	Longitud (m)
Fanel amarillo (LP)	1	2.60
Fanel amarillo (LP)	3	2.60
Fanel amarillo (LP)	5	2.60
Fanel amarillo (LP)	7	2.60
Fanel amarillo (LP)	9	2.60
Mecha rápida	-	Hasta los 20 m
Carmex	-	Hasta los 20 m
Fulminante eléctrico	-	A partir de los 20 m
Pentacord	-	3.00

Fuente: Curasma Quispe & Tito Titto, 2014, pág. 51.

4.10. SOSTENIMIENTO

Para labores subterráneas es un elemento crucial para garantizar la estabilidad de las excavaciones. El objetivo fundamental del sostenimiento es prevenir la deformación excesiva y el colapso de las rocas y garantizar la integridad estructural de la mina.

El diseño de sostenimiento se basa en una evaluación detallada de las características geomecánicas de la roca, incluyendo la resistencia de las rocas, la estructura geológica, la presencia de agua y la magnitud de las fuerzas presentes. Además, se deben tener en cuenta los métodos de explotación minera utilizados y los requisitos específicos de cada proyecto.

De acuerdo al estudio geomecánico realizado, el tipo de roca en la zona a ejecutar la chimenea es BUENA (Clase II).

Cuadro 16.

Sostenimiento Según el Tipo de Roca.

TIPO DE ROCA	CLASE		RMR	CARACTERISTICAS DE LA ROCA	TIPO DE SOSTENIMIENTO
BUENA	II		> 60	Roca dura ligeramente intemperizada.	Por lo general, no será necesario aplicar ningún tipo de sostenimiento. En caso de que se produzcan cuñas o desprendimientos, se utilizarán ocasionalmente pernos Split Set para asegurar la estabilidad.
REGULAR "A"	III - A		51 - 60	Roca dura, poco fisurada.	Por lo general, no será necesario aplicar ningún tipo de sostenimiento, pero se pueden utilizar pernos esporádicos Split Set.
REGULAR "B"	III - B		41 - 50	Roca medianamente dura, moderadamente fracturada.	Instalación de pernos sistemáticos de 6 pies en el techo, con un espaciado de 1,5 metros entre ellos. Si las condiciones del terreno lo demandan, también se puede considerar la utilización de malla electrosoldada o cuadros de madera trapezoidal con un espaciado de 1,5 metros.
MALA "A"	IV - A		31 - 40	Roca suave, fracturada, con algunas fallas, panizadas.	Instalación de pernos sistemáticos de 6 pies en la bóveda, con un espaciado de 1,0 metro entre ellos. En caso de que el terreno lo exija, también se pueden considerar opciones como la instalación de malla electrosoldada o cuadros de madera trapezoidal con un espaciado de 1,0 metro.
MALA "B"	IV - B		21 - 30	Roca muy suave, muy fracturada, panizada,	Pernos sistemáticos de 6 pies en la bóveda, con un espaciado de 1,0 metro entre ellos. En caso de que el terreno lo exija, también se puede considerar la instalación de malla electrosoldada o cuadros de madera trapezoidal con un espaciado de 1,0 metro.

Fuente: Clasificación geomecánica RMR. Bieniawski, 1973.

El sostenimiento que se utilizará en la Chimenea 017 de acuerdo al estudio geomecánico serán el Split set de 5 pies de ser necesario.

4.11. REQUERIMIENTO TOTAL DE AIRE (Q_{To})

Conforme a lo establecido en el reglamento se toma en cuenta la siguiente fórmula:

$$Q_{To} = Q_{Tl} + Q_{Fu}$$

Donde:

Q_{To} : caudal total requerido.

Q_{Tl} : suma de caudales calculados.

Q_{Fu} : 15% del Q_{Tl}

4.11.1. Caudal requerido por número de trabajadores (Q_{Tr})

Para la ubicación de la Compañía MACDESA (1930 msnm), el caudal mínimo de aire necesario por trabajador será de 4 m³ /min.

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

Donde:

N : mayor cantidad de trabajadores por guardia.

F : caudal para la altura de 1930 msnm.

Tabla 14.

Número de Trabajadores por Guardia

CANTIDAD DE TRABAJADORES		
ZONA	Guardia	
	A	B
Esperanza Sur	41	38
Rampa	65	64
Total	106	102

Fuente: Área de operaciones Compañía MACDESA.

Para los cálculos se considera la guardia con mayor cantidad de trabajadores, en este caso la guardia A posee mayor número de trabajadores con respecto a la guardia B.

Trabajadores por guardia	Factor (4 m ³ /min)	m ³ /min
106	4	424

$$Q_{Tr} = 106 \times 4 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$Q_{Tr} = 424 \text{ m}^3/\text{min}$$

4.11.2. Caudal requerido por consumo de madera (Q_{Ma})

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

Donde:

T : producción por guardia expresado en toneladas.

u : factor de producción según el reglamento.

Tabla 15.

Factor por Consumo de Madera.

Consumo de madera (%)	Factor de producción (m ³ /min)
< 20	0.00
20 a 40	0.60
41 a 70	1.00
> 70	1.25

Fuente: Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería.

Cuadro 17.

Consumo de Madera por Guardia.

Constante	Factor de Conversión	Densidad madera (kg/m ³)
3.14	0.0254	750

Consumo de madera en Galerías					
	Cant. Puntales	Diámetro (pulg)	Longitud (m)	Diámetro (m)	Peso (kg)
Cuadro	3	8	3	0.2032	218.79
Tirantes	1	7	3	0.1778	55.84
Encostillado	5	6	1.5	0.1524	102.56

Encribado	4	7	2	0.1778	148.90
Total					526.08

Consumo de madera en chimeneas					
	Cant. Puntales	Diámetro (pulg)	Longitud (m)	Diámetro (m)	Peso (kg)
Cuadro	7	8	2	0.2032	340.33
Encribado	4	7	2	0.1778	148.90
Encostillado	3	6	1.5	0.1524	61.53
	Cant. Puntales	Ancho (pulg)	Longitud (m)	Altura (pulg)	
Entablado	12	8	3	2	278.71
Total					829.47

Consumo de madera en tajos					
	Cant. Puntales	Diámetro (pulg)	Longitud (m)	Diámetro (m)	Peso (kg)
Puntales	2	8	2	0.2032	97.24
	Cant. Puntales	Ancho (pulg)	Longitud (m)	Altura (pulg)	
Tablas	1	8	2	2	15.48
Total					112.72

Fuente: Elaboración propia del autor.

Tabla 16.

Consumo de Madera por Zona.

Zona	Tipo	Nº de labores	Consumo (kg)	Consumo (TM)
Esperanza Sur	Tajo	8	112.72	0.90
	Chimeneas	4	829.47	3.32
	Galerías	4	526.08	2.10
Rampa	Tajo	9	112.72	1.01
	Chimeneas	4	829.47	3.32
	Galerías	3	526.08	1.58
Total				12.23

Fuente: Elaboración propia del autor.

El aporte a la producción de la zona de Esperanza Sur y Rampa es de 50 TM/guardia.

Caudal por consumo de madera

Producción (TM)	Consumo de madera (TM)	Consumo (%)	Factor	Q _{ma} (m ³ /min)
50.00	12.23	24.47%	0.60	30.00

$$Q_{Ma} = 50 \text{ TM/guardia} \times 0.60 \frac{\text{m}^3/\text{min}}{\text{TM/guardia}}$$

$$Q_{Ma} = 30 \text{ m}^3/\text{min}$$

4.11.3. Caudal requerido por temperatura (Q_{Te})

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

Donde:

V_m : velocidad mínima.

A : sección de la labor.

N : cantidad de niveles con temperaturas mayores a 23 grados.

Tabla 17.

Velocidad Mínima Según la Temperatura

Temperatura (°C)	V _m (m/min)
< 24	0.00
24 a 29	30.00

Fuente: Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería.

Los niveles 1550, 1520 y 1490; presentan temperaturas menores a 23 °C, por lo tanto, el caudal requerido por la temperatura será cero (Q_{Te} = 0).

4.11.4. Caudal requerido por equipo petrolero (Q_{Eq})

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

Donde:

HP : potencia efectiva (HPs).

D_m : disponibilidad mecánica (%).

F_u : factor de utilización (%).

La Compañía MACDESA cuenta con equipos diésel con disponibilidad mecánica y factor de utilización al 80%.

Tabla 18.

Total de HPs de los Equipos.

EQUIPO	HP	Cantidad	Total, HPs
JUMBO DD311	100	1	100
SCOOP LH 410 TORO	295	1	295
VOLVO FMX 440	440	2	880
Total HPs			1275

Fuente: Elaboración propia del autor.

$$Q_{Eq} = 3 \times 1275 \times 0.60 \times 0.75 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$Q_{Eq} = 1721.25 \text{ m}^3/\text{min}$$

4.11.5. Caudal requerido por fugas (Q_{Fu})

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

Donde:

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

$$Q_{T1} = 424 \text{ m}^3/\text{min} + 30 \text{ m}^3/\text{min} + 0 + 1721.25 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$Q_{T1} = 2175.25 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$Q_{Fu} = 15\% \times 2175.25 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$Q_{Fu} = 326.29 \text{ m}^3/\text{min}$$

Tabla 19.*Caudal Total Requerido.*

Requerimiento de aire	m3/min	CFM
Trabajadores (QTr)	424.00	14973.42
Consumo de madera (QMa)	30.00	1059.44
Temperatura (QTe)	0.00	0.00
Equipos Diesel (QEq)	1721.25	60785.37
Caudal requerido $Q1 = QTr + QMa + QTe + QEq$	2175.25	76818.23
Caudal requerido por fugas $Qfu = 15\%QT1$	326.29	11522.73
Caudal total requerido $QTo = QT1 + QFu$	2501.54	88340.96

Fuente: Elaboración propia del autor.

4.12. COBERTURA DE AIRE

El aire fresco debe distribuirse de manera uniforme en todas las áreas de trabajo, evitando zonas de baja circulación o estancamiento. Se utilizan técnicas como la disposición estratégica de entradas y salidas de aire, la instalación taponés y puertas de ventilación para dirigir el flujo de aire, y la implementación de sistemas de ventilación auxiliares.

El suministro adecuado de aire es esencial para diluir los contaminantes y gases nocivos, regular la temperatura y humedad, y proporcionar suficiente oxígeno para mantener condiciones respirables.

Por los cálculos realizados se determinó el caudal total requerido (QTo) de 88340.96 CFM y el flujo total de ingreso es de 57066.74 CFM.

Cuadro 18.

Cálculo de Cobertura de Aire.

Caudal Total Requerido (Qto)	Ingreso de Aire	Cobertura de Aire (%)
88340.96	57066.74	64.60%

Fuente: Elaboración propia del autor.

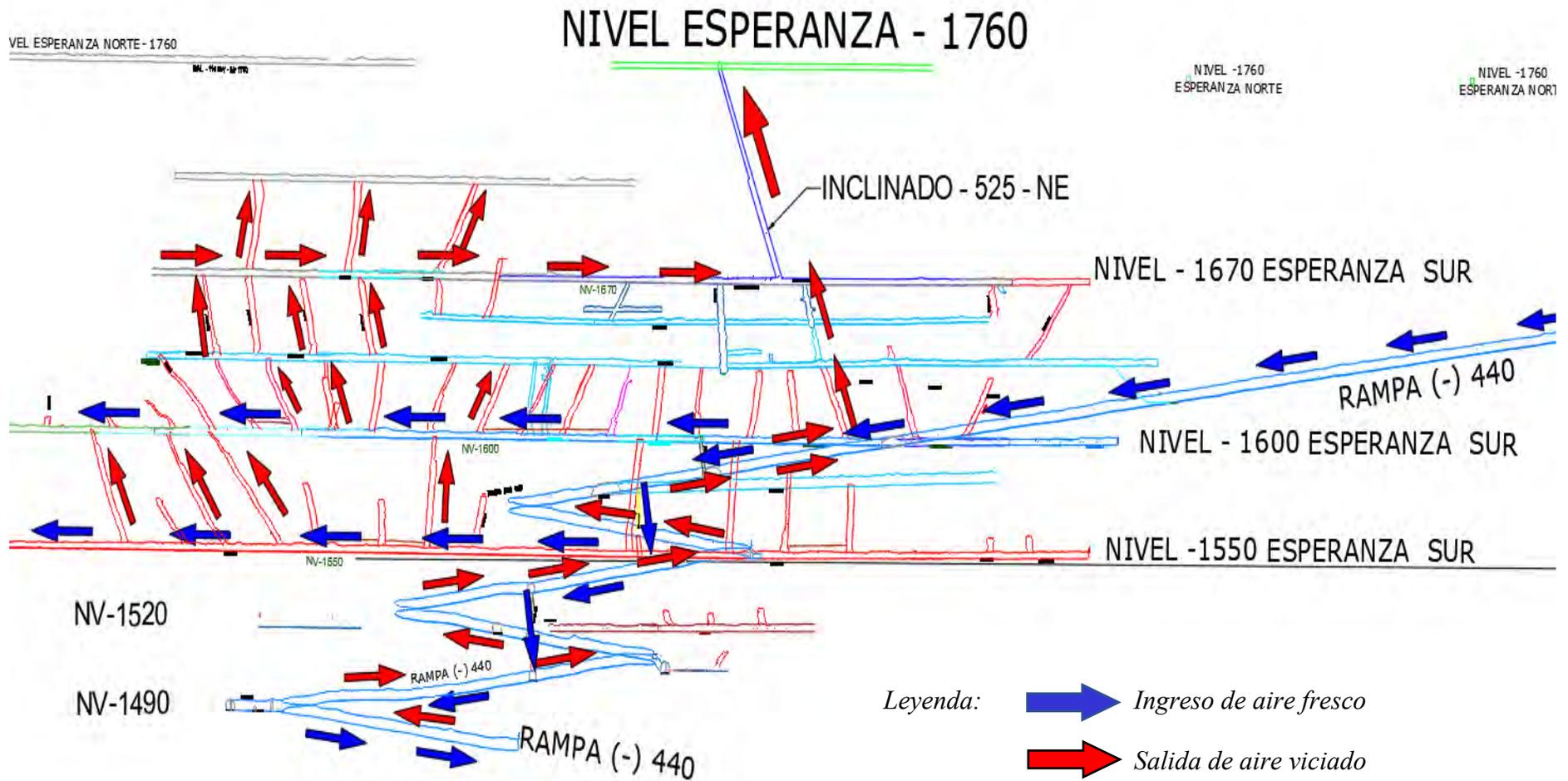
El suministro de aire para la ventilación actual solo cubre el 64.60 % del total requerido, por consiguiente, la deficiencia de aire por cubrir es de 35.40 %.

4.13. CIRCUITO DE VENTILACIÓN ACTUAL DE LA RAMPA 440

El ingreso del aire es por la bocamina de la Rampa 440, mediante dos ventiladores de 30000 CFM de capacidad cada uno, conducidos a través de mangas de ventilación de 28 pulgadas. En interior mina se utilizan ventiladores auxiliares de 10000 CFM de capacidad para la distribución de aire a lugares específicos. El aire viciado asciende por las diferentes chimeneas y por el inclinado 525 – NE al nivel 1760 de la zona de Esperanza.

Figura 28.

Circuito de ventilación actual de la Rampa 440.



Nota. Adaptada del plano topográfico general, Área de topografía Compañía MACDESA.

4.13.1. Evaluación de ingreso de flujo de aire

El suministro de aire para las Zonas Esperanza sur y Rampa, es por la bocamina de la Rampa 440 de sección 4.50 x 4.50 m. suministrados por 02 ventiladores de 30000 CFM cada uno, haciendo un caudal total de 60000 CFM (en teoría).

Tabla 20.

Caudal de Aire Suministrado.

INGRESO DE AIRE					
LABOR	Velocidad		Área (m ²)	Caudal	
	(m/s)	(m/min)		(m ³ /min)	CFM
Bocamina Rampa 440 (-)	1.33	79.8	20.25	1615.95	57066.74

Fuente: Elaboración propia del autor.

4.13.2. Evaluación de salida del flujo de aire

Consiste en medir y evaluar la cantidad de aire que sale de la mina a través de las salidas de ventilación, como chimeneas, inclinados o piques.

Tabla 21.

Salidas de Aire a la Zona de Esperanza Norte.

SALIDA DE AIRE					
LABOR	Velocidad		Área (m ²)	Caudal	
	(m/s)	(m/min)		(m ³ /min)	CFM
Inclinado 525 - NE	1.46	87.60	12.25	1073.10	37896.17
CH - 701 SW	0.48	28.80	4.00	115.20	4068.25
PQ - 620	0.59	35.40	6.25	221.25	7813.37
				TOTAL	49777.79

Fuente: Elaboración propia del autor.

Debido a la presencia de labores antiguas se presenta un desbalance entre el caudal total de ingreso y de salida, descrito a continuación:

- Ingreso total de aire : 57066.74 CFM
- Salida total de aire : 49777.79 CFM
- Desbalance : 9005.24 CFM

Según el Reglamento la diferencia de flujo de aire entre el ingreso y salida no debe sobrepasar el 10 %. La diferencia representa el 12.77% incumpliendo con lo establecido en el reglamento.

4.14. CIRCUITO DE VENTILACIÓN CON LA CHIMENEA 017

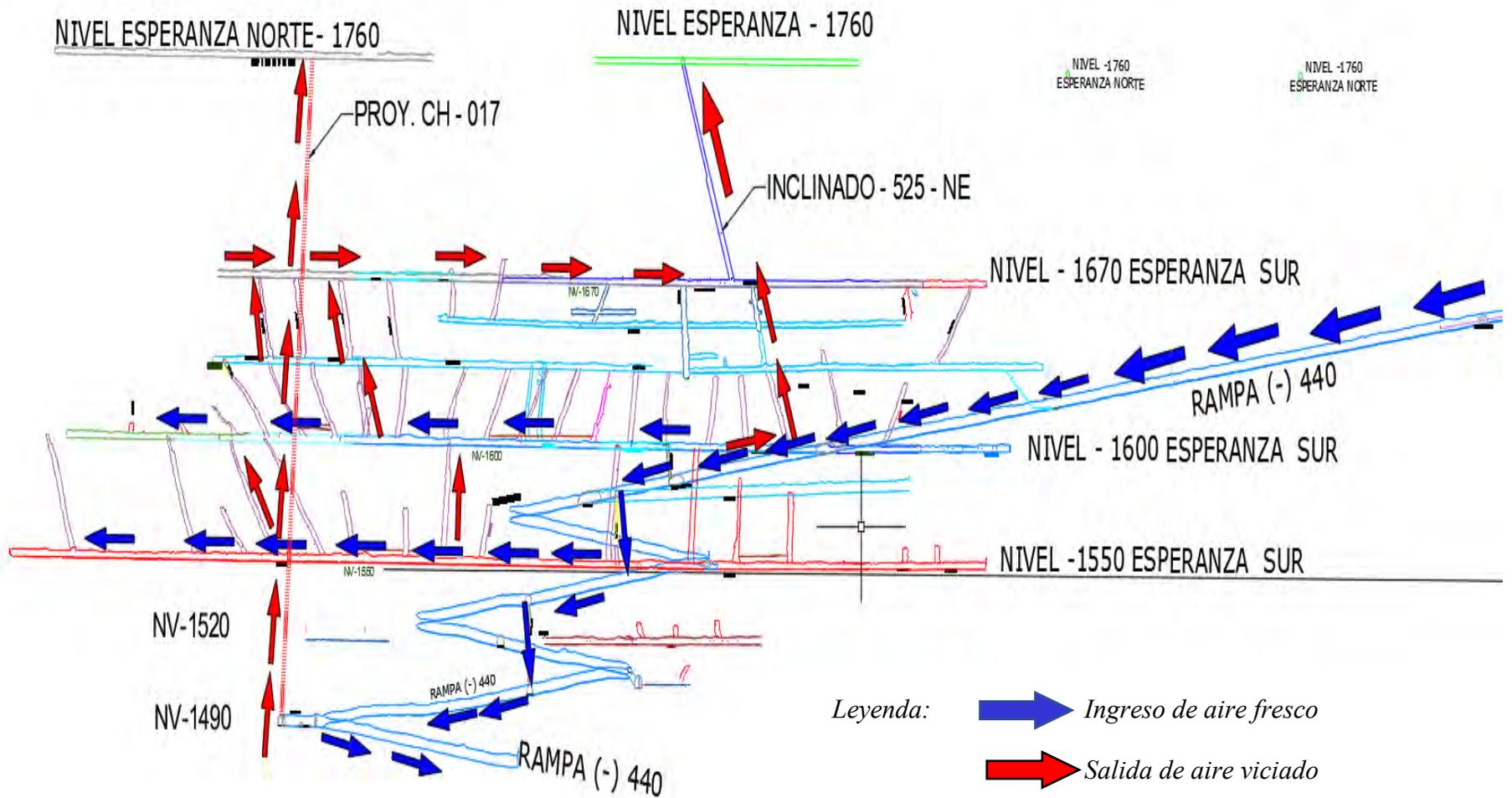
Una vez construida la Chimenea 017, se espera que cumpla la función de extraer el aire contaminado generado en los diferentes niveles de la mina subterránea.

La finalidad principal de la construcción de la Chimenea 017 es abordar la deficiencia de aire detectada previamente, que se calculó en un 35.40%. Esta deficiencia indica que los niveles de aire fresco requeridos para garantizar una adecuada ventilación y condiciones de trabajo seguras no se están cumpliendo. Al extraer el aire viciado a través de la chimenea, se espera incrementar la cantidad de aire limpio en la mina, lo que resultará en una mejor cobertura de aire y una mejora en la calidad de condiciones de trabajo.

La extracción del aire utilizado o viciado a través de la Chimenea 017 tiene como objetivo principal evitar la recirculación de ese aire viciado en los diferentes niveles de la mina.

Figura 29.

Circuito de ventilación con la Chimenea - 017



Nota. Adaptada del plano topográfico general, Área de topografía Compañía MACDESA.

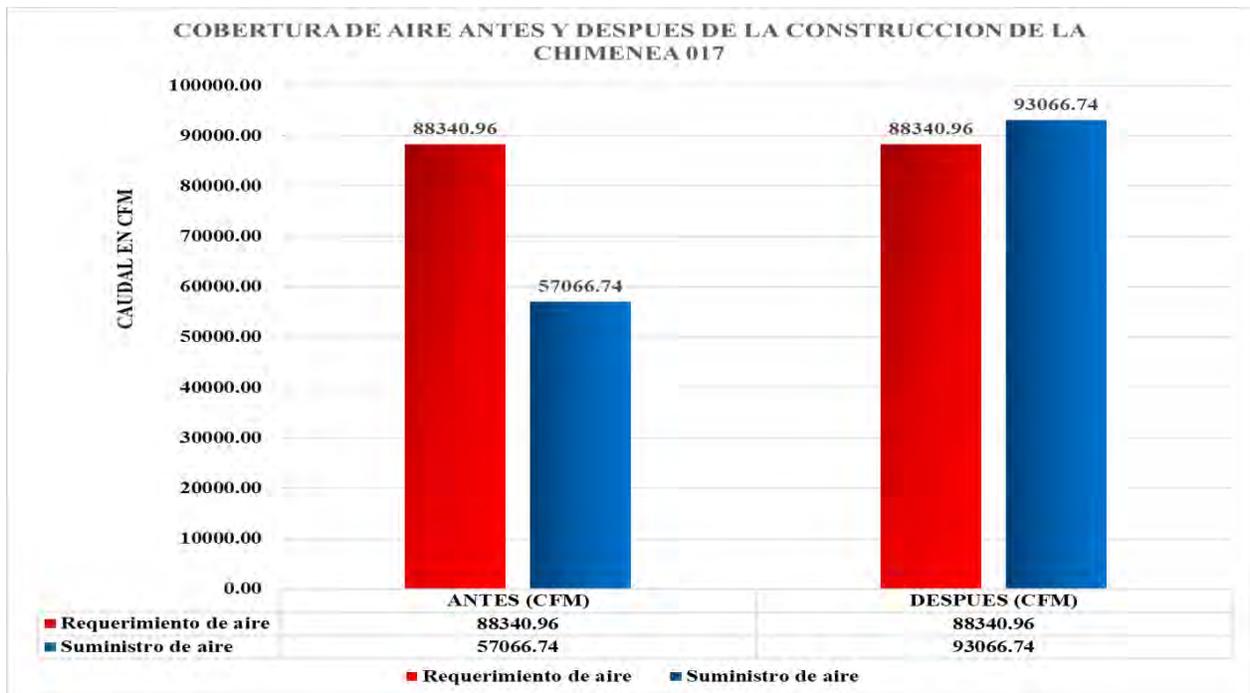
El ingreso de aire continuara por la bocamina de la Rampa 440. En la GAL – 115 NW, parte superior de la Chimenea 017, se colocará un extractor de 40000 CFM de capacidad para la extracción del aire utilizado o viciado; por depresión el ingreso de aire por la bocamina también aumentará en la misma proporción.

4.15. ANÁLISIS DE LA COBERTURA DE AIRE

En la siguiente figura se muestra la cobertura de aire antes de la construcción de la chimenea-017 donde el aire fresco solo cubre el 64.60% del requerimiento de aire calculado. El suministro de aire después de la construcción de la chimenea esta dado por el suministro de aire antes de la construcción de la chimenea, más la capacidad del extractor, que se colocará en la chimenea 017, operando con una eficiencia del 90%.

Figura 30.

Análisis Estadístico de la Cobertura de Aire.



Después de la construcción de la chimenea y posterior instalación del extractor de 40000 CFM para extraer el aire viciado a través de la Chimenea 017, la cobertura de aire será del 105.35%.

4.16. ANÁLISIS DE COSTOS OPERATIVOS

4.16.1. Precio unitario de mano de obra directa

Cuadro 19.

Precios Unitarios de Mano de Obra.

Ley y BBSS				88.86%	67.60%	tipo de cambio		3.73		PU
Descripción	Planilla S/.	Asignación Familiar S/.	Planilla +Asig. familiar S/.	Leyes y B.S. S/.	Monto Mensual al Parcial S/.	Mensual Total \$	Cant.	Total Mensual \$	Costo Dia \$	Costo Hrs \$
Perforista Alimak	3,200.00	102.50	3302.50	2934.67	6237.17	1672.16	3.00	5016.49	55.74	6.97
Perforista	3,000.00	102.50	3102.50	2756.95	5859.45	1570.90	3.00	4712.69	52.36	6.55
Operador Alimak	3,000.00	102.50	3102.50	2756.95	5859.45	1570.90	3.00	4712.69	52.36	6.55
Valvulero	2600.00	102.50	2702.50	2401.50	5104.00	1368.36	3.00	4105.09	45.61	5.70
Mecánico Alimak	3200.00	102.50	3302.50	2934.67	6237.17	1672.16	3.00	5016.49	55.74	6.97

Fuente: Elaboración propia del autor.

4.16.2. Precio unitario de perforación

Cuadro 20.

Precios Unitarios de Aceros de Perforación.

Descripción	Unidad	Vida útil tipo de roca II	Precio S/.	Precio \$	PU \$/PP
Barreno cónico 2"	pp	800.00	447.60	120.00	0.15
Barreno cónico 4"	pp	800.00	522.20	140.00	0.18
Barreno cónico 6"	pp	800.00	596.80	160.00	0.20
Barreno cónico 8"	pp	800.00	671.40	180.00	0.23

Broca 36 mm	pp	400.00	298.40	80.00	0.20
Broca 38 mm	pp	400.00	298.40	80.00	0.20

Fuente: Elaboración propia del autor.

Cuadro 21.

Precios Unitarios de Mangueras y Conexiones.

Descripción	Unidad	Vida útil disparos	Precio S/.	Precio \$	PU \$/Disparo
Maguera 1"	m	40	9.99	2.70	0.0675
Manguera 1/2"	m	40	4.921	1.33	0.03325
Grampas y accesorios	Unidad	40	17.575	4.75	0.11875

Fuente: Elaboración propia del autor.

Cuadro 22.

Precio Unitario de Lubricantes.

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio S/.	Precio \$	PU \$/disparo
Aceite	Gal	0.5	50.32	13.60	6.80
Grasa	Kg	0.3	4.625	1.25	0.38

Fuente: Elaboración propia del autor.

4.16.3. Precio unitario de equipos de protección personal

Cuadro 23.

Precios Unitarios de Equipos de Protección Personal.

Descripción	Vida Útil Tarea	Precio S/.	Precio \$	P.U. \$/tarea	Trabajadores
Casco	350	60	16.22	0.05	0.05
Saco de jebe	50	25	6.76	0.14	0.14
Pantalón de jebe	50	25	6.76	0.14	0.14
Lentes de seguridad	30	10	2.70	0.09	0.09
Barbiquejo	60	1.5	0.41	0.01	0.01
Botas de jebe	120	84.09	22.73	0.19	0.19

Zapatos de seguridad	85	80	21.62	0.25	0.25
Lámparas Mineras	360	300	81.08	0.23	0.23
Cartuchos para respirador	20	42.7	11.54	0.58	0.58
Filtro para respirador	15	38	10.27	2.53	2.53
Tapón de oídos	30	1.5	0.41	0.01	0.01
Guantes de neopreno	25	36	9.73	0.39	0.39
Guantes de badana	35	8	2.16	0.06	0.06
Guantes driver	30	11.5	3.11	0.10	0.10
Correa porta lámparas	180	12	3.24	0.02	0.02
Respirador 3M	150	125	33.78	0.23	0.23
Mameluco	180	75	20.27	0.11	0.11
Arnés de seguridad y línea de vida	130	280	75.68	0.58	0.58
Polo en tela drill	90	30	8.11	0.09	0.09
Chaleco Reflectivo	180	60	16.22	0.09	0.09
Polo en tela malla	90	30	8.11	0.09	0.09
\$/Tarea					5.97

Fuente: Elaboración propia del autor.

4.16.4. Sostentamiento

Cuadro 24.

Precio Unitario por Sostentamiento.

Trabajos adicionales Chimenea 017				P.U. US\$
Instalación de Pernos Helicoidales de 5 pies	Unid.	1	\$20.50	\$20.50
Instalación de Split Sets de 4 y 5 pies	Unid.	1	\$17.00	\$17.00
Instalación de Malla Electrosoldada	M2	1	\$15.00	\$15.00

Fuente: Elaboración propia del autor.

4.16.5. Análisis de precios unitarios

Los precios unitarios en la construcción de chimeneas subterráneas pueden variar según factores como: la ubicación, el tipo de chimenea, las dimensiones, la complejidad del diseño, los materiales utilizados y las condiciones del macizo rocoso.

Cuadro 25.

Parámetros de Construcción de la Chimenea - 017.

PARTIDA:	Chimenea de ventilación - 017				
SISTEMA:	20 x 10	Longitud barra:	2.44	8.0	m: pie
DIMENSIONES (m2):	4	Eficiencia de Perforación	90.16%		%
INCLINACION:	80°	Longitud efectiva:	2.20	7.2	m: pie
LONGITUD DE CHIMENEA (m):	280	Eficiencia voladura:	90%		%
TIPO DE ROCA:	II	No. De taladros Perforados:	24.0		Tal / frente
FECHA DE ELABORACION:	05/05/2023	No. De taladros disparados:	20.0		Tal / frente
		Avance por Disparo	1.98		m/disp.
		Avance por Guardia	1.98		m/gdia
		Horas por guardia:	10.3		Hr/gdia
		Avance por día	3.96		m/dia
		Tiempo de ejecución	71		días

Cuadro 26.

Análisis de Precios Unitarios Cimenea-017 Alimak.

ANALISIS DE PRECIO UNITARIO CHIMENEA ALIMAK - 017								
ITEM	DESCRIPCION	Cantidad	Unidad	Incid.	P.U (US\$)	P. Parcial	Sub Total	TOTAL (US\$) / m
1.0	MANO DE OBRA DIRECTA							
	Perforista Alimak	10.3	Hh	100%	6.97	71.76	36.27	
	perforista	10.3	Hh	100%	6.55	67.42	34.07	
	Operador Alimak	10.3	Hh	100%	6.55	67.42	34.07	
	Valvulero	10.3	Hh	100%	5.70	58.73	29.68	
	Mecánico Alimak	10.3	Hh	100%	6.97	71.76	36.27	170.37

2.0	PERFORACION							
	ACEROS DE PERFORACION							
	Barra Cónica de 2'	192.0	Pp	25%	0.15	7.20	3.64	
	Barra Cónica de 4'	192.0	Pp	25%	0.18	8.40	4.25	
	Barra Cónica de 6'	192.0	Pp	25%	0.20	9.60	4.85	
	Barra Cónica de 8'	192.0	Pp	25%	0.23	10.80	5.46	
	Broca de 36 mm.	192.0	Pp	25%	0.20	9.60	4.85	
	Broca de 38 mm.	192.0	Pp	75%	0.20	28.80	14.56	37.60
	MANGUERAS Y ACOPLES							
	Manguera 1"	10.0	ml		0.07	0.68	0.34	
	Manguera 1/2"	10.0	ml		0.03	0.33	0.17	
	Acoples Rápidos para Mangueras	10.0	Unid		0.12	1.19	0.60	1.11
	LUBRICANTES							
	Aceite de perforación	0.50	Gal	100%	6.80	3.40	1.72	
	Grasas	0.25	Kg.	100%	0.38	0.09	0.05	1.77
3.0	EXPLOSIVOS Y ACCESORIOS							
	Emulsión	20.88	Kg.		1.91	39.88	20.16	
	Fanel	20.00	Unid		1.42	28.40	14.35	
	Pentacord 3P	3.00	ml		0.17	0.51	0.26	
	Fulminante eléctrico	2.00	Unid		0.38	0.76	0.38	
	Cable de disparo	1.00	ml		1.50	1.50	0.76	35.91
4.0	HERRAMIENTAS							
	Herramientas Varios	4.0%	Global		170.37	6.81	6.81	6.81
5.0	IMPLEMENTOS DE SEGURIDAD							
	Implementos de Seguridad Perforistas	4.0			5.97	23.88	12.07	
	Implementos de Seguridad Ayudantes	1.0			4.43	4.43	2.24	14.31
6.0	EQUIPOS Y MAQUINARIAS							
	Equipo Alimak	6.0	Hm	100%	64.00	384.00	194.08	
	Perforadora Stoper	192.0	Pp	100%	0.12	23.04	11.64	208.45
	Lampara minera	6.0	Hm	100%	0.90	5.40	2.73	
7.0	ACCESORIOS ALIMAK							
	Ángulos	1.0	Unid		33.4	33.36	16.86	
	Espaciadores	1.0	glb		27.8	27.80	14.05	
	Pernos de 3/4 x 2; x3.5; x5	10.0	ml		3.3	33.36	16.86	
	Pernos de Expansión	2.0	Pzas		27.8	55.60	28.10	18.97
COSTO DIRECTO POR METRO								495.29

Fuente: Elaboración propia del autor.

CONCLUSIONES

- a. Los parámetros de diseño de la Chimenea-017; para mejorar la ventilación en la profundización de la Rampa 440 en la Compañía MACDESA, están conformados por: la sección de la Chimenea de 2x2 m (sección cuadrada), la longitud de 280 metros, una inclinación de 80° y en rocas de tipo II. Considerando los parámetros mencionados anteriormente el método más adecuado para la construcción es el método semi mecanizado con plataforma Alimak STH - 5E de propulsión eléctrica.
- b. Los parámetros de diseño de la chimenea-0.17, están determinados por: la sección de la Chimenea-017 de 2x2 m (sección cuadrada), la longitud de 280 metros, una inclinación de 80° y en rocas de tipo II. cuyo extremo inferior localizado en las coordenadas UTM 618377.73 E – 8265040.38 N, en la cota 1490 msnm, en tanto el extremo superior ubicado en las coordenadas UTM 618413.04 E – 8265078.48 N, en la cota 1760 msnm. Estos parámetros determinan el tiempo de construcción y el costo que esta implica. La construcción de la chimenea requerirá un período de ejecución de 71 días, lo que equivale a aproximadamente 2.5 meses. El costo estimado para cada metro de la chimenea es de 495.29 dólares.
- c. Las características del circuito de ventilación actual de la Rampa 440 se detalla de la siguiente manera: la entrada de aire limpio es por la bocamina de la Rampa 440 accionados por dos (02) ventiladores de 30000 CFM de capacidad cada uno, que suministran un caudal total de 57066.74 CFM, generando una cobertura del 64.60 % del total requerido. El aire fresco suministrado diluye el aire viciado en interior mina, generando la

recirculación de la misma en las diferentes labores que posteriormente salen por el Inclinado 525 NE, CH-701 SW y PQ-620.

- d.** Las características del circuito de ventilación construida la chimenea-017, mejoran con la colocación de un extractor de 40000 CFM de capacidad en la parte superior de dicha chimenea, que cumplirá la función de extraer el aire viciado del interior de la Rampa 440 evitando la circulación dentro de la mina. Generando, por depresión el ingreso de aire, en la misma proporción, por la bocamina de la Rampa 440.

El requerimiento total de aire calculado es de 88,340.96 CFM; con la instalación del extractor y los dos ventiladores ya existentes el suministro de aire será de 93066.74 CFM, haciendo la cobertura del 105.35% del requerimiento de aire calculado.

RECOMENDACIONES

- 01.** Para la construcción de chimeneas que superan los 100 metros de longitud, es recomendable la utilización de la plataforma Alimak. En el caso específico de la Chimenea-017 (sección de 2x2 m) en la Compañía MACDESA, se recomienda el uso de la plataforma eléctrica STH-5E, debido al uso frecuente en condiciones similares. Al seleccionar el equipo correcto de acuerdo a las dimensiones y condiciones específicas de la chimenea, se garantiza un funcionamiento óptimo y resultados exitosos en la ejecución de proyectos mineros.
- 02.** Antes de iniciar con los trabajos en la Chimenea-017 se debe ejecutar el mantenimiento rutinario de la plataforma para prevenir cualquier imprevisto en el ascenso y descenso, debido a la completa dependencia de la plataforma Alimak para realizar la excavación.
- 03.** En minería subterránea las condiciones pueden cambiar repentinamente, en consecuencia, en la construcción de la Chimenea-017, es necesaria la supervisión permanente para cumplir los parámetros de diseño. Los trabajos topográficos son de vital importancia para mantener los parámetros determinados.
- 04.** Para la construcción de la Chimenea-017, es esencial elegir personal capacitado y con experiencia significativa en la construcción de chimeneas con plataforma trepadora Alimak, dado que el logro de los objetivos está fuertemente vinculado al rendimiento de los trabajadores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andia Granda, F. F. (2019). *Diseño de chimeneas gemelas para mejorar la ventilacion en los niveles 1790 - 2050 veta Paula Cia Minera Yanaquihua*. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustin de Arequipa.
- Avalos Lloclla, R. (2021). *Evaluación del sistema de ventilación para el diseño del circuito principal en la mina Esperanza-U. M. San Juan de Arequipa*. Cusco: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.
- Calderon Navarro, M. A. (2015). *Optimización de las prácticas de perforación de la minería de mediana escala (Unidad Minera MACDESA)*. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Peru.
- Curasma Quispe, J. V., & Tito Titto, E. R. (2014). *Optimizacion de operaciones en las construcciones de chimeneas con el metodo Raise Climber utilizando equipo Alimak STH-5E en mina Marsa-2012*. Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica.
- Deere, D. U. (1989). *Rock Quality Designation*. Florida.
- EXSA Explosivos. (2009). *Manual Práctico de Voladura*.
- Herrera Herbert, J. (2019). *Introducción a la Ventilación Minera*. MADRID: Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía.
- Hoek. (2002). *Rock Enginiering Course Tunnels in Weak Rock*. Canada: Vancouver B.C.
- Instituto de ingenieros de Minas del Peru, P. (1989). Lima.
- Llanque Maquera, O. E. (2012). *Explotación Subterránea - Métodos y Casos Prácticos*. Puno: Perú Offset Editors.
- MACDESA. (2019). *Informe geologico*. Chaparra: Departamento de Geología.

- Medina Quezada, C. A. (2020). *Estudio Comparativo Técnico – Economico de diseño de chimenea, caso chimenea mina Pajonales (Manual – Alimak – Raise Boring)*. Concepción: Universidad Andrés Bello.
- Ministerio de Energia y Minas. (2017). *Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería*. Lima: ISEM.
- Navarro Romero, J. C. (2020). *Aplicación del sistema Raise Climber ascendente para optimizar el avance de construcción de chimeneas en U. M. Orcopampa-Buenaventura 2020*. Huancayo: Universidad Continental.
- Ramirez Oyanguren, P., & Alejano Monge, L. (2004). *Mecanica de Rocas e Ingenieria de Taludes*. España.
- Salinas, C. (1998). *Construcción de Tuneles, Piques y Chimeneas*. Santiago de Chile: Departamento de Ingeniería de Minas de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile.
- Vílchez Córdova, W. E., & Vílchez Córdova, L. D. (2015). *Estudio comparativo de construcción de chimeneas, por método convencional Ch. 340 SW y mecanizado con plataforma trepadora Alimak Ch. 480 SW, en la Zona Torre de Cristal de la Compañía Minera Raura S.A*. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Yucas Mejia, V. H. (2015). *Analisis geomecanico del macizo rocoso para la construccion de la chimenea Glory hole mediante el sistema Alimak*. Quito, Ecuador: Universidad Central del Ecuador.
- Zitron. (2020). *Ventilación de Minas*.

ANEXOS

MATRIZ DE CONSISTENCIA				
“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA CHIMENEA – 017, PARA MEJORAR LA VENTILACIÓN EN LA RAMPA 440 DE LA COMPAÑÍA MACDESA – AREQUIPA”				
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLE DEPENDIENTE	INDICADORES
¿Cuáles son los parámetros de diseño de la Chimenea – 017, para mejorar la ventilación en la profundización de la Rampa 440 en la Compañía MACDESA - Arequipa?	Determinar los parámetros de diseño de la Chimenea-017, para mejorar la ventilación en la profundización de la Rampa 440 en la Compañía MACDESA- Arequipa.	Los parámetros de diseño y la construcción de la Chimenea-017; Determinarán la mejora de la ventilación en la profundización de la Rampa 440 en la Compañía MACDESA - Arequipa.	Ventilación en la Rampa 440	Caudal de flujo de aire (CFM)
				Circuito de Ventilación (Parámetros)
PROBLEMAS ESPECIFICOS	OBJETIVO ESPECIFICOS	HIPOTESIS ESPECIFICOS	VARIABLES INDEPENDIENTE	INDICADORES
¿Cuáles son los parámetros de diseño de la Chimenea – 017 en la Compañía MACDESA?	Determinar los parámetros de diseño para la construcción de la Chimenea-017 en la Compañía MACDESA.	El estudio de los parámetros de diseño influirá en la construcción de la Chimenea– 017 en la Compañía MACDESA.	Diseño y Construcción de la Chimenea-017	Diseño de la chimenea (Parámetros)
¿Cuáles son las características del circuito de ventilación actual en la Rampa 440?	Determinar las características del circuito de ventilación actual de la Rampa 440.	El estudio del sistema de ventilación de la Rampa 440 determinara las características del circuito de ventilación actual.		Costo de ejecución (\$)
¿Cuáles son las características del circuito de ventilación después de la construcción de la Chimenea – 017?	Determinar las características del circuito de ventilación después de la construcción de la Chimenea-017.	Con la construcción de la Chimenea-017 se determinará las características del nuevo circuito de ventilación que mejorará la ventilación en la profundización de la Rampa 440 en la Compañía MACDESA-Arequipa.		Periodo de ejecución (meses)