

**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 CH 415  
MEDIANTE PLATAFORMAS Y ESCALERAS METÁLICAS  
(PEM) EN LA UNIDAD MINERA POMASI - PUNO**

**PRESENTADO POR:**

Br. KENY YAFET SOLORZANO TOROBEO

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

**ASESOR:**

Ing. MAXIMO VICTOR MAYTA LINO

**CUSCO – PERÚ**

**2026**



# Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

## INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el **Asesor** Ing. MAXIMO VICTOR MAYTA LINO  
..... quien aplica el software de detección de similitud al  
trabajo de investigación/tesis titulada: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA CHIMENEA  
CH 415 MEDIANTE PLATAFORMAS Y ESCALERAS METÁLICAS (PEM)  
EN LA UNIDAD MINERA POMASI - PUNO

Presentado por: KENY YAFET SOLORZANO TOROBELO DNI N° 73129543;  
presentado por: ..... DNI N°: .....  
Para optar el título Profesional/Grado Académico de INGENIERO DE MINAS

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 03 veces, mediante el  
Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de**  
**Similitud en la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 09 %.

### Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

| Porcentaje     | Evaluación y Acciones                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Marque con una<br>(X) |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Del 1 al 10%   | No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.                                                                                                                                                                                                                                                                           | <u>X</u>              |
| Del 11 al 30 % | Devolver al usuario para las subsanaciones.                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                       |
| Mayor a 31%    | El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato<br>jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al<br>Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones<br>correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que<br>correspondan de acuerdo a Ley. |                       |

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto**  
las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 21 de enero de 2026

Firma

Post firma ING. MAXIMO VICTOR MAYTA LINO

Nro. de DNI 23956885

ORCID del Asesor 0000 - 0002 - 9935 - 5754

### Se adjunta:

- Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
- Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: **oid:** 27259:548079386

# KENY YAFET SOLORZANO TOROBEO

## DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA CHIMENEA CH 415 MEDIANTE PLATAFORMAS Y ESCALERAS METÁLICAS (PEM) E...

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

### Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:548079386

Fecha de entrega

21 ene 2026, 4:07 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

21 ene 2026, 4:18 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA CHIMENEA CH 415 MEDIANTE PLATAFORMAS Y ESCALERAS MET....pdf

Tamaño del archivo

4.4 MB

121 páginas

19.350 palabras

113.470 caracteres

# 9% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

## Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 9 palabras)
- Trabajos entregados

## Fuentes principales

- 9%  Fuentes de Internet
- 2%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

## Marcas de integridad

### N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

## **DEDICATORIA**

**A mi familia**, y especialmente a mi madre, le agradezco profundamente por sus consejos sabios, agradezco profundamente el respaldo constante recibido en todo momento, así como los valores y enseñanzas que han guiado mi desarrollo personal y profesional, por el acompañamiento constante en cada etapa y por fomentar en mí valores esenciales que han guiado mi formación. , que me han ayudado a ser la persona que soy hoy. Más que nada, le agradezco por su amor constante. A mi padre, le reconozco como un gran ejemplo a seguir, de quien hasta ahora sigo aprendiendo tanto.

**A mis maestros**, quienes han sido un apoyo, motivación y guía para culminar nuestros estudios universitarios a si mismo a mi casa de estudio, que me brindó las herramientas y el entorno necesarios para formarme como profesional.

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, expreso mi gratitud al creador brindarme la fuerza y la salud necesarias para desarrollar este trabajo. A mi apreciada universidad formadora, expreso mi más profundo reconocimiento por ser la institución que me formó integralmente, tanto en el ámbito académico como personal. Extiendo mi sincero agradecimiento a mi tutor profesor por su valiosa guía, experiencia y apoyo constante durante toda mi carrera. Del mismo modo, manifiesto mi aprecio a todo el equipo de ingenieros de la Facultad, quienes mediante su compromiso y experiencia aportaron de manera decisiva a mi desarrollo como ingeniero. De manera especial, deseo agradecer a los profesores de la facultad que me ofrecieron los fundamentos más sólidos y la preparación necesaria para desenvolverme adecuadamente en esta enriquecedora experiencia profesional.

## RESUMEN

El presente estudio de tesis tuvo como objetivo determinar el impacto de la implementación del sistema de plataformas y escaleras metálicas (PEM) en la seguridad, eficiencia y costos operativos durante la construcción de la Chimenea Ch 415 en la Unidad Minera Pomasi SAC, Puno. Se trató de un estudio explicativo con enfoque cuantitativo no experimental, analizando una situación real de construcción.

La chimenea Ch 416 presenta una sección de 3.0 m x 1.5 m y una longitud de 50 m lineales, ubicada entre los niveles 4580 y 4630 de la zona de Cahuapaza. Para evaluar cuantitativamente su construcción, se compararon dos proyectos paralelos: uno con método convencional y enmaderado (Chimenea Ch 416) y otro empleando el Sistema PEM (Chimenea Ch 415).

Los resultados revelan una mayor eficiencia operacional del sistema PEM, que ejecutó los 50 m en 29 días con 33 disparos, frente a 40 días y 50 disparos del método convencional de puntales. Esto generó un ahorro de \$2682.19 por chimenea, destacando beneficios significativos en la eficiencia operativa y costos de construcción, con implicaciones positivas en seguridad.

**Palabra Clave:** Chimeneas, Plataformas, Escaleras metálicas, Minería subterránea.

## **ABSTRACT**

This thesis study aimed to determine the impact of implementing the Metal Platforms and Ladders System (PEM) on safety, efficiency, and operational costs during the construction of Chimney Ch-415 at the Pomasi SAC Mining Unit in Puno. It was an explanatory study with a quantitative, non-experimental approach, analyzing a real construction situation.

Chimney Ch-416 features a 3.0 m x 1.5 m section and a length of 50 linear meters, located between levels 4580 and 4630 in the Cahuapaza zone. To quantitatively evaluate its construction, two parallel projects were compared: one using the conventional and timbered method (Chimney Ch-416) and another employing the PEM System (Chimney Ch-415).

The results reveal greater operational efficiency of the PEM system, which completed the 50 m in 29 days with 33 blasts, compared to 40 days and 50 blasts for the conventional shoring method. This generated savings of \$2,682.19 per chimney, highlighting significant benefits in operational efficiency and construction costs, with positive implications for safety.

**Keywords:** Chimneys, Metal platforms, Ladders, Underground mining.



## ÍNDICE

|                                                                   |     |
|-------------------------------------------------------------------|-----|
| DEDICATORIA .....                                                 | ii  |
| AGRADECIMIENTO .....                                              | iii |
| RESUMEN .....                                                     | iv  |
| ABSTRACT.....                                                     | v   |
| ÍNDICE DE TABLAS .....                                            | ix  |
| ÍNDICE DE FIGURAS.....                                            | x   |
| CAPÍTULO I .....                                                  | 15  |
| PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....                                  | 15  |
| 1.1. Descripción del problema .....                               | 15  |
| 1.2. Formulación del problema .....                               | 17  |
| 1.2.1. Problema general.....                                      | 17  |
| 1.2.2. Problemas específicos.....                                 | 17  |
| 1.2. Justificación e importancia de la investigación .....        | 17  |
| 1.3.1. Justificación Técnica.....                                 | 18  |
| 1.3.2. Justificación Operacional .....                            | 18  |
| 1.3.4. Justificación Económica .....                              | 19  |
| 1.4. Objetivos de la investigación .....                          | 19  |
| 1.4.1. Objetivo general.....                                      | 19  |
| 1.4.2. Objetivos específicos.....                                 | 19  |
| 1.5. Delimitación del estudio .....                               | 20  |
| 1.5.1. Delimitación espacial.....                                 | 20  |
| 1.5.2. Delimitación temporal.....                                 | 21  |
| CAPÍTULO II .....                                                 | 22  |
| MARCO TEÓRICO.....                                                | 22  |
| 2.1. Antecedentes de la Investigación.....                        | 22  |
| 2.1.1. Antecedentes nacionales.....                               | 22  |
| 2.2. Bases teóricas.....                                          | 23  |
| 2.2.1. Chimenea.....                                              | 23  |
| 2.2.1. Diseño de Chimenea.....                                    | 29  |
| 2.2.2. Clasificación geomecánicas.....                            | 31  |
| 2.2.3. Ciclo de minado .....                                      | 32  |
| 2.2.4. Costos mineros en la elaboración de precios unitarios..... | 33  |
| 2.3. Hipótesis de la investigación .....                          | 34  |

|                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.3.1. Hipótesis general.....                                                                     | 34 |
| 2.3.2. Hipótesis específicas .....                                                                | 34 |
| 2.4. Variables e indicadores .....                                                                | 35 |
| 2.4.1. Variable dependiente.....                                                                  | 35 |
| 2.4.2. Variable independiente .....                                                               | 35 |
| 2.4.3. Operacionalización de variables .....                                                      | 35 |
| 2.5. Glosario de Términos.....                                                                    | 36 |
| CAPÍTULO III.....                                                                                 | 40 |
| METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN .....                                                             | 40 |
| 3.1. Tipo de la investigación .....                                                               | 40 |
| 3.2. Diseño de la investigación .....                                                             | 40 |
| 3.3. Nivel de investigación.....                                                                  | 40 |
| 3.4. Población y Muestra .....                                                                    | 41 |
| 3.4.1. Descripción de la Población .....                                                          | 41 |
| 3.4.2. Descripción de la Muestra .....                                                            | 41 |
| 3.5. Recolección de datos.....                                                                    | 41 |
| 3.6. Procesamiento de datos.....                                                                  | 42 |
| 3.7. Diseño y Construcción de la Chimenea Ch 415 con Plataformas y Escaleras Metálicas (PEM)..... | 42 |
| 3.7.1. Identificación del área para la ejecución de la chimenea 415 .....                         | 42 |
| 3.7.2. Análisis geomecánico .....                                                                 | 43 |
| 3.7.3. Análisis Geomecánico en la Chimenea Ch 415 .....                                           | 48 |
| 3.7.4. Diseño de la chimenea ch 415.....                                                          | 48 |
| 3.7.4. Plataformas y escaleras metálicas (PEM) .....                                              | 54 |
| Factor de seguridad de operación del sistema de plataformas y escaleras metálicas .....           | 56 |
| 3.7.5. Enmaderado del doble compartimiento .....                                                  | 69 |
| 3.7.6. Diseño de malla de perforación y voladura .....                                            | 70 |
| Malla de perforación.....                                                                         | 70 |
| 4.13. Requerimiento total de aire ( $q_{t0}$ ) .....                                              | 79 |
| Caudal requerido por número de trabajadores ( $Q_{Tr}$ ) .....                                    | 80 |
| Caudal requerido por consumo de madera ( $Q_{Ma}$ ) .....                                         | 82 |
| Caudal requerido por temperatura ( $Q_{Te}$ ).....                                                | 84 |
| Caudal requerido por equipo petrolero ( $Q_{Eq}$ ).....                                           | 84 |
| Caudal requerido por fugas ( $Q_{Eu}$ ).....                                                      | 85 |

|                                                                                                                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Secuencia operativa diaria</i> .....                                                                                                                        | 89  |
| <i>Secuencia operativa mensual</i> .....                                                                                                                       | 91  |
| CAPITULO IV.....                                                                                                                                               | 97  |
| ANALISIS DE RESULTADOS Y DISCUCIONES.....                                                                                                                      | 97  |
| 4.1 Análisis de resultados .....                                                                                                                               | 97  |
| 4.1.1. <i>Índices de Seguridad</i> .....                                                                                                                       | 97  |
| 4.1.2. <i>Eficiencia de avance entre chimenea convencional y empleando el Sistema Plataforma Escalera Metálico</i> .....                                       | 100 |
| 4.1.2. <i>Cálculo de costos de perforación, voladura y materiales entre chimenea convencional y empleando el Sistema Plataformas Escaleras Metálica.</i> ..... | 103 |
| 4.2. Discusiones .....                                                                                                                                         | 109 |
| CONCLUSIONES .....                                                                                                                                             | 111 |
| RECOMENDACIONES .....                                                                                                                                          | 112 |
| REFERENCIAS.....                                                                                                                                               | 113 |
| 1. FACTOR DE SEGURIDAD OPERATIVA .....                                                                                                                         | 116 |
| ANEXOS .....                                                                                                                                                   | 116 |
| 2. MATRIZ DE CONSISTENCIA .....                                                                                                                                | 118 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                                                   |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Tabla 1.</b> Ruta de acceso a la unidad minera.....                                                            | 21  |
| <b>Tabla 2.</b> Ubicación de la Chimenea 415 .....                                                                | 49  |
| <b>Tabla 3.</b> Cálculo de cargas de operación.....                                                               |     |
| <b>Tabla 4.</b> Resumen de Factores de Seguridad Típico A36 .....                                                 |     |
| <b>Tabla 5.</b> Coeficientes de Seguridad.....                                                                    |     |
| <b>Tabla 6.</b> Distribución de taladros .....                                                                    | 71  |
| <b>Tabla 7.</b> Características generales- Perforadora JACK LEG RNP 250 .....                                     | 73  |
| <b>Tabla 8.</b> Mangueras de suministro - Jack Leg RNP 250.....                                                   | 73  |
| <b>Tabla 9.</b> Mangueras de suministro Stoper.....                                                               | 74  |
| <b>Tabla 10.</b> Tipo de Emulnor y Usos .....                                                                     | 76  |
| <b>Tabla 11.</b> Tipo de Emulnor y Usos .....                                                                     | 77  |
| <b>Tabla 12.</b> Datos generales para el factor de carga con un barreno de 6 pies .....                           | 77  |
| <b>Tabla 13.</b> Sostenimiento Según el Tipo de Roca. ....                                                        | 79  |
| <b>Tabla 14.</b> Número de Trabajadores por Guardia.....                                                          | 81  |
| <b>Tabla 15.</b> Factor por Consumo de Madera.....                                                                | 82  |
| <b>Tabla 16.</b> Consumo de Madera .....                                                                          | 83  |
| <b>Tabla 17.</b> Consumo de madera en la zona de Cahuapaza .....                                                  | 83  |
| <b>Tabla 18.</b> Consumo de madera en la zona de Cahuapaza .....                                                  | 85  |
| <b>Tabla 19.</b> Secuencia operativa diaria .....                                                                 | 90  |
| <b>Tabla 20.</b> Pasos operativos de la Chimenea Ch 415 .....                                                     | 91  |
| <b>Tabla 21.</b> Secuencia operacional mensual en una chimenea convencional. ....                                 | 92  |
| <b>Tabla 22.</b> Secuencia operacional mensual con plataformas y escaleras metálicas. ....                        | 93  |
| <b>Tabla 23.</b> Peligros, riesgos y medidas de control.....                                                      | 94  |
| <b>Tabla 24.</b> Rendimiento entre chimenea convencional y Sistema P.E.M. ....                                    | 101 |
| <b>Tabla 25.</b> Costos de voladura.....                                                                          | 105 |
| <b>Tabla 26.</b> Costo de materiales entre chimenea convencional y usando Plataformas y escaleras metálicas ..... | 106 |
| <b>Tabla 27.</b> Costos asociados a cada actividad realizada durante la construcción de la chimenea .....         | 107 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Figura 1.</b> Ubicación de la U.M. Pomasi.....                                              | 20  |
| <b>Figura 2.</b> Chimeneas construidas en forma de “H”. .....                                  | 26  |
| <b>Figura 3.</b> Vista en planta de plataforma.....                                            | 27  |
| <b>Figura 4.</b> Estructura de ejecución y protección.....                                     | 27  |
| <b>Figura 5.</b> Elementos metálicos que se utilizaran para la ejecución de chimeneas PEM..... | 29  |
| <b>Figura 6.</b> Representación de un testigo para el Cálculo de RQD .....                     | 31  |
| <b>Figura 7.</b> Plano de ubicación de la Chimenea 415.....                                    | 43  |
| <b>Figura 8.</b> Valoración del Macizo Rocoso .....                                            | 45  |
| <b>Figura 9.</b> Valoración del Macizo Rocoso .....                                            | 46  |
| <b>Figura 10.</b> Cuadro de Logueo de Testigos , Zona Cahuapaza. ....                          | 47  |
| <b>Figura 11.</b> Representación de la Sección Rectangular.....                                | 50  |
| <b>Figura 12.</b> Secuencia Operacional .....                                                  | 51  |
| <b>Figura 13.</b> Elementos Metálicos-Plataformas Metálicas .....                              | 56  |
| <b>Figura 14.</b> Elementos Metálicos-Escalera Metálica .....                                  | 65  |
| <b>Figura 15.</b> Elementos Metálicos Corredizos.....                                          | 66  |
| <b>Figura 16.</b> Elementos Metálicos-Anclajes.....                                            | 67  |
| <b>Figura 17.</b> Elementos Metálicos-Ganchos.....                                             | 68  |
| <b>Figura 18.</b> Distribución de Carga.....                                                   |     |
| <b>Figura 19.</b> Diagrama de Momento Flector.....                                             |     |
| <b>Figura 20.</b> Diagrama de Fuerza Cortante.....                                             |     |
| <b>Figura 21.</b> Deflexión.....                                                               |     |
| <b>Figura 22.</b> Malla de Perforación y voladura .....                                        | 72  |
| <b>Figura 23.</b> Especificas técnicas.....                                                    | 72  |
| <b>Figura 24.</b> Perforadora Stoper.....                                                      | 74  |
| <b>Figura 25.</b> Características-Perforadora Stoper.....                                      | 74  |
| <b>Figura 26.</b> Características Técnicas de las Barras Cónicas de Perforación .....          | 75  |
| <b>Figura 27.</b> Broca de 36 y 38 mm .....                                                    | 76  |
| <b>Figura 28.</b> Chimenea convencional .....                                                  | 87  |
| <b>Figura 29.</b> Distancia de plataforma a frente de chimenea.....                            | 88  |
| <b>Figura 30.</b> Avance comparativo PEM.....                                                  | 89  |
| <b>Figura 31.</b> Disparos vs enmaderados .....                                                | 100 |

|                                                                                                                                               |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Figura 32.</b> Diferencias existentes entre la chimenea tradicional y la utilización del sistema de plataforma con escalera metálica ..... | 102 |
| <b>Figura 33.</b> Análisis comparativo de los costos de perforación .....                                                                     | 103 |

## LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

|                     |                                                                                                                       |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| UCS                 | Unidad de resistencia de la roca intacta para soportar esfuerzos sin confinamiento.                                   |
| RMR                 | Sistema que califica la calidad global de un macizo rocoso.                                                           |
| RQD                 | Indicador que expresa el grado de fracturamiento del conjunto rocoso con base en la longitud de testigos recuperados. |
| PEM                 | Plataformas y escaleras metálicas                                                                                     |
| m <sup>3</sup> /min | Metros cúbicos por minuto                                                                                             |
| m <sup>2</sup>      | Metros cuadrados                                                                                                      |
| US\$/hr             | Dólares estadounidenses por hora                                                                                      |
| Qa                  | Caudal de aire (m <sup>3</sup> /min)                                                                                  |
| SAC                 | Sociedad Anónima Cerrada                                                                                              |
| CIA                 | Compañía                                                                                                              |
| %                   | Porcentaje                                                                                                            |
| ft/min              | Pies por minuto                                                                                                       |
| Km                  | Kilómetros                                                                                                            |
| FS                  | Factor de Seguridad                                                                                                   |
| kN                  | Kilo Newton                                                                                                           |
| kN-m                | Kilo Newton metro                                                                                                     |
| Kg                  | Kilogramos                                                                                                            |

## INTRODUCCIÓN

La explotación minera bajo superficie constituye un proceso altamente técnico, donde la seguridad operativa depende de un riguroso modelamiento, supervisión permanente y una correcta secuencia de labores, para reducir riesgos y garantizar un avance eficiente de las labores mineras. Como la productividad en las operaciones. Bajo estas circunstancias, el proceso de diseño y construcción de chimeneas es esencial porque tiene un impacto directo en los costos y la eficiencia de avance de las operaciones mineras. Esta investigación se centra en mejorar la seguridad, la eficiencia y los costos asociados al diseño y construcción de chimeneas a través del uso del sistema PEM en la mina Pomasi SAC.

Una de las complicaciones más grandes para las compañías mineras es el elevado costo operativo presente en el diseño y construcción de chimeneas, principalmente debido al uso intensivo de madera para puntales y sostenimiento, material cuya vida útil limitada y cuya susceptibilidad a defectos estructurales generan costos adicionales y riesgos de accidentes. La manipulación y preparación de la madera también complica los procesos, afectando negativamente tanto para asegurar la integridad del personal y mantener el rendimiento productivo, se requiere analizar métodos complementarios o alternativos a los que se utilizan tradicionalmente y Garantizar condiciones seguras para el personal y simultáneamente conservar la continuidad del proceso productivo, actividades innovadoras que permitan disminuir el uso de la madera sin comprometer los estándares de seguridad y la eficiencia productiva.

En respuesta a estas demandas, el sistema PEM se presenta como una solución viable, caracterizada por una estructura metálica modular que reduce significativamente el consumo de madera, facilita su transporte y montaje en espacios confinados, y maximiza las horas efectivas de trabajo. El diseño de esta tecnología contribuye a mejorar la seguridad laboral, disminuyendo los riesgos relacionados con la fragilidad y manipulación de materiales tradicionales.



Este estudio se organiza en cuatro capítulos que permiten una comprensión integral del tema. El primer capítulo, Introducción, enmarca los objetivos, variables e hipótesis del estudio y capítulo dos, describiendo los métodos constructivos usados en trabajos verticales mineros. En el tercer Capítulo, se describe y detalla de qué manera se construyó la chimenea con sistema PEM en Pomasi. En el cuarto Capítulo, Análisis y Conclusiones, compara proceso, costos y avances entre los métodos convencionales y PEM, evidenciando ahorros y mayores avances. Finalmente, se presentarán las conclusiones basadas en datos obtenidos en 2025, destacando la reducción de costos y mejora en eficiencia de avance y seguridad.

Con esta investigación se busca demostrar que la adopción de tecnologías modernas como el PEM representa un avance significativo para la minería subterránea, aportando a la reducción de costos, una mayor eficiencia de avance y generación de un ambiente laboral más seguro.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1. Descripción del problema**

En la mejora continua, las empresas mineras buscan optimizar de manera constante sus operaciones y procedimientos. En la minería subterránea, uno de los costos más significativos asociados al diseño y construcción de chimeneas y al sostenimiento de labores es el uso de madera. Como señala Chambi (2018), las chimeneas, que funcionan como labores de acceso y ventilación, suelen ejecutarse con madera, un recurso cada vez más limitado debido a las restricciones medioambientales. Esta situación no es ajena a la Unidad Minera Pomasi S.A.C., donde la madera utilizada tradicionalmente en puntales y sistemas de sostenimiento presenta una vida útil reducida como consecuencia de la exposición continua a ambientes agresivos en el interior de la mina. Factores como la humedad y los defectos de ensamble aceleran su degradación, lo que la convierte en un material poco reutilizable y obliga a reemplazos frecuentes. Esto, a su vez, incrementa los costos operativos y genera retrasos en las labores, afectando directamente el avance de las chimeneas.

Además de su corta durabilidad, el uso de madera enfrenta otras limitaciones significativas. Por un lado, su adquisición está sujeta a regulaciones ambientales que restringen su disponibilidad; por otro, su transporte dentro de la mina implica costos adicionales y complejidad operativa debido a su peso elevado y escasa maniobrabilidad. Estos factores tienen un efecto adverso en la planificación y ejecución de las actividades mineras, generando lentitud

y una alta dependencia de un recurso cada vez más escaso. A esto se suma que, en el método convencional, el uso de puntales de avance limita las operaciones de perforación, restringiendo el empleo de barrenos de mayor longitud y obligando al uso de barrenos de apenas 4 pies, lo cual disminuye aún más la eficiencia de avance.

En la empresa Pomasi S.A.C., donde se emplea el método de explotación de corte y relleno ascendente convencional, las chimeneas cumplen funciones críticas, como delimitar bloques de perforación y voladura, cumplir funciones de chute, acceso y conductos de ventilación. Un caso específico es la chimenea CH-415 y CH-416 (chimeneas mellizas) con una sección de 3.0 m x 1.5 m, diseñadas para permitir el acceso a la zona mineralizada de la veta Cahuapaza y la instalación de los servicios en la construcción de la Galería 475 NE Nivel 4630, esencial para las demás labores de explotación. Sin embargo, la planificación y ejecución de las estructuras con puntales de madera enfrentaría serias dificultades, incluyendo altos costos y retrasos operativos que impactan negativamente los tiempos de ejecución de otras actividades mineras.

Antes esta situación, se hace imprescindible de explorar alternativas que permitan optimizar el diseño y construcción de chimeneas. Una de estas alternativas es la implementación del sistema de plataformas y escaleras metálicas (PEM), el cual es objeto de este estudio. La adopción de este sistema permitiría reducir significativamente el tiempo de construcción de la chimenea, mejorar la eficiencia de los equipos y trabajadores, y disminuir la dependencia de la madera, reemplazándola con componentes metálicos más duraderos y maniobrables. Como resultado, se espera no solo optimizar los procesos, sino también reducir los costos de construcción.

## **1.2. Formulación del problema**

Identificado el problema, seguidamente se realiza la formulación de los problemas que se tomaran dentro de la investigación.

### **1.2.1. Problema general**

¿De qué manera la implementación del sistema de plataformas y escaleras metálicas (PEM) influye en la seguridad operacional, eficiencia de avance y costos durante el diseño y construcción de la Chimenea Ch 415 en la Unidad Minera Pomasi S.A.C., Puno?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- a. ¿De qué manera la implementación del sistema de plataformas y escaleras metálicas (PEM) influye en la seguridad operacional durante el diseño y construcción de la Chimenea CH-415 en la Unidad Minera Pomasi S.A.C., Puno?
- b. ¿Cómo influye la implementación del sistema de plataformas y escaleras metálicas (PEM) en la eficiencia de avance durante el diseño y construcción de la Chimenea 415 de la Unidad Minera Pomasi S.A.C., Puno?
- c. ¿Cómo impacta la implementación del sistema de plataformas y escaleras metálicas (PEM) en los costos de diseño y construcción de la chimenea 415 en la Unidad Minera Pomasi S.A.C., Puno?

## **1.2. Justificación e importancia de la investigación**

En la Unidad Minera Pomasi SAC, los costos operativos relacionados con el diseño y construcción de chimeneas se han mantenido elevados debido al uso intensivo de madera, un material tradicionalmente empleado para puntales y sostenimiento. Sin embargo, la madera presenta una vida útil limitada, especialmente bajo las condiciones adversas de humedad y ambiente subterráneo, lo que genera un desgaste acelerado y la necesidad de constantes reemplazos. Además, la presencia de defectos estructurales, las posibles fallas en los empalmes y las dificultades que conlleva su preparación y corte incrementan los riesgos laborales, al

complicar su manipulación y aumentar la probabilidad de accidentes en el campo. Estas limitaciones no solo incrementan los costos directos, sino que también provocan retrasos significativos en la ejecución de las obras.

Considerando estos desafíos, la ejecución del sistema de plataformas y escaleras metálicas (PEM) surge como una alternativa prometedora. Este sistema reduce considerablemente el consumo de madera al ser una estructura metálica modular que facilita su transporte, montaje y desmontaje en espacios confinados, características vitales en la minería subterránea. Además, el PEM contribuye a maximizar las horas productivas de trabajo, optimizando la eficacia de los empleados involucrados. Su diseño permite mejorar las condiciones de seguridad en las labores, al reducir riesgos asociados con el manejo y la fragilidad del material convencional.

#### ***1.3.1. Justificación Técnica***

La implementación de plataformas y escaleras metálicas (PEM) en el diseño y construcción de chimeneas para labores mineras resulta conveniente debido a su impacto positivo en la seguridad, eficiencia de avance y costos de diseño y construcción. Estas estructuras proporcionan un acceso más seguro y rápido a las áreas de trabajo en altura, minimizando los riesgos de accidentes laborales, como caídas, y facilitando la movilidad de los trabajadores. Además, las plataformas y escaleras metálicas son resistentes a las condiciones de humedad en mina, convirtiéndolo así un material que reemplace la madera para el diseño y construcción de Chimeneas de forma convencional.

#### ***1.3.2. Justificación Operacional***

Al incrementar los avances por disparo y disminuir trabajos de enmaderado, se logra acortar el tiempo de diseño y construcción de la chimenea y con ello evitar penalidades por incumplimiento de objetivos.

#### **1.3.4. Justificación Económica**

Al tratarse de una empresa contratista, el avance en metros está directamente relacionado con las valorizaciones mensuales, ya que la incorporación del sistema de plataformas y escaleras metálicas (PEM) disminuye el costo de diseño y construcción de la chimenea al requerir un menor número de tareas para completar la longitud de chimenea programada.

#### **1.4. Objetivos de la investigación**

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

Evaluar la influencia de la implementación del sistema de plataformas y escaleras metálicas (PEM) en la seguridad operacional, eficiencia de avance y costos durante el diseño y construcción de la Chimenea CH-415 en la Unidad Minera Pomasi S.A.C., Puno.

##### **1.4.2. Objetivos específicos**

- a. Determinar de qué manera la implementación del sistema de plataformas y escaleras metálicas (PEM) influye en la seguridad operacional durante el diseño y construcción de la Chimenea CH-415 en la Unidad Minera Pomasi S.A.C., Puno.
- b. Evaluar como el uso del sistema de plataformas y escaleras metálicas (PEM) influye en la eficiencia de avance durante el diseño y construcción de la Chimenea 415 de la Unidad Minera Pomasi S.A.C., Puno.
- c. Analizar en qué medida la implementación del sistema de plataformas y escaleras metálicas (PEM) influye en los costos durante el diseño y construcción de la chimenea 415 en la Unidad Minera Pomasi S.A.C., Puno.

## 1.5. Delimitación del estudio

Una vez reconocida la problemática central del estudio, se establecieron los siguientes límites o alcances:

### 1.5.1. Delimitación espacial

La investigación se ejecuta en la Unidad Minera Pomasi, localizada en el paraje del mismo nombre, dentro del distrito de Palca, provincia de Lampa, en la región Puno. Las coordenadas geográficas de este lugar son: 319 241 Este y 8 302 238 Norte en formato UTM. Se ubica a una gran altitud.

#### 1.5.1.1. Ubicación política

El área evaluada se sitúa políticamente dentro de la siguiente delimitación administrativa:

|              |   |       |
|--------------|---|-------|
| Distritos    | : | Palca |
| Provincias   | : | Lampa |
| Departamento | : | Puno  |

**Figura 1.**

*Ubicación de la U.M. Pomasi*



Nota. Instituto Nacional Geográfico (2023)

#### 1.5.1.2. Acceso

El acceso a la mina es a través de la vía terrestre, para llegar a Pomasi, se debe hacer uso de carretera, contando con un promedio de 87 Km desde la ciudad de Juliaca.

La vía de acceso, por carretera se detalla en la siguiente tabla.

**Tabla 1.**

*Ruta de acceso a la unidad minera.*

| ORIGEN         | DESTINO | DITANCIA | CLASE DE CARRETERA |
|----------------|---------|----------|--------------------|
| <b>JULIACA</b> | Lampa   | 35 km    | Asfalto            |
| <b>LAMPA</b>   | Palca   | 32 km    | Trocha Carrozable  |
| <b>PALCA</b>   | Pomasi  | 20 km    | Trocha Carrozable  |

Nota. Fuente: Elaboración Propia

#### 1.5.1.2.3. Topografía

La topografía de la unidad minera presenta una combinación de áreas planas y colinas con perfiles redondeados. Las crestas de las colinas se encuentran entre los 4,400 y 4,800 de altura, con algunas elevaciones que superan los 5,000 metros. Este relieve está modelado principalmente sobre rocas del Paleozoico, con presencia de depósitos glaciales, fluvioglaciares y aluviales.

#### 1.5.2. Delimitación temporal.

La data que se tomará en cuenta para la elaboración del trabajo de investigación se sitúa dentro del periodo 2025, tomando en cuenta información y data donde se realiza la labor Chimenea Ch 415, empleándose datos proporcionados por la Unidad Minera Pomasi.



## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes de la Investigación

##### 2.1.1. Antecedentes nacionales

- a. **Según Carranzá Zárate y Quispe Salas (2015)**, De la unoiversidad del norte de lima *“Mejora del diseño de chimeneas en labores subterráneas mediante la implementación del sistema PEM en la Unidad de Producción Minera TROY S.A.C.”* plantea como propósito principal optimizar la configuración y desarrollo de las chimeneas mediante el empleo del Sistema de Plataformas y Escaleras Metálicas (PEM), aplicado específicamente en las actividades extractivas de la compañía TROY S.A.C, así demostrando, que el sistema PEM presenta mayor adaptabilidad y un costo inferior en comparacion con el metodo tradicional. Ya que el costo operativo del sistema PEM para una chimene con sección de 1.50mx 1.50m es \$1024.40 por metro lineal, mientras que en la estructura construida con madera de igual seccion resulta de \$ 1251.27, reduciendo notablemente los precios y valores economicos de las estructuras hasta un 20% en comparacion con el sistema convección en donde se involucra el uso de madera. Además, detalla que la productividad aumento en un 50%, lo que refleja un avance en la ejecución de la obra.
- b. **Según Quiñones Taipe (2024)**, En su estudio de la casa de estudio del Cetro del Perú, se examina la construcción de chimeneas empleando el sistema de plataformas y escaleras metálicas (PEM), con el propósito de determinar su efecto en la optimización

y reducción de los costos asociados a los procesos productivos de la compañía minera Kolpa S.A., ubicada en Huancavelica. El objetivo de la investigación fue analizar cómo la implementación del sistema PEM influye en los costos de producción. Se utilizó un enfoque cuantitativo para comparar el desempeño de los trabajadores que emplean el sistema PEM con aquellos que siguen el método tradicional en el Tajo 250. El análisis reveló que el uso del sistema PEM redujo los costos de producción en \$3,817.73, al tiempo que mejora la seguridad y las condiciones laborales.

- c. **Arocutipa-Charrez (2015)**, de una universidad en Arequipa, realizó una tesis titulada “Comparación entre la construcción de chimeneas utilizando plataformas y escaleras metálicas PEM y el método tradicional con apuntalamiento de madera en la *Mina San Rafael*”. La investigación, busco principalmente evidenciar la opción más favorable para la excavación de chimeneas usando el sistema PEM. En su investigación, evaluó una muestra con sección de 1.50 m x 1.50 m y longitud de 60 metros, encontrando que el rendimiento de avance mensual fue de 52 metros en 30 días empleando el método PEM, frente a 115.20 metros en el mismo período utilizando el método convencional. Además, identificó una diferencia de costos favorables al sistema PEM de 23.20%, confirmando así su eficiencia y economía respecto al método tradicional con madera.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Chimenea**

Una chimenea es un conducto vertical que se construye en el interior de una mina para permitir la circulación de aire, la ventilación y, en algunos casos, el transporte de materiales o desplazamiento de personas. Su función principal es garantizar un flujo adecuado de aire hacia las zonas de trabajo, mientras que simultáneamente facilita la evacuación de gases nocivos, polvo y calor. Las chimeneas son esenciales para mantener el bienestar y la protección en materia de seguridad y salud del personal, reduciendo riesgos como la acumulación de gases tóxicos y mejorando la eficiencia de las operaciones mineras. (Herrera Herbert, 2014)

### **2.2.1.1. Características de las chimeneas**

En minería subterránea, las chimeneas presentan una serie de características clave que determinan su funcionalidad y eficiencia en las operaciones. Estas características incluyen:

- Según la forma: Circular, Cuadrada o Rectangular.
- De acuerdo a la longitud: Corta, media o extensa, pudiendo variar desde menos de 50 metros hasta más de 100 metros.
- De acuerdo sección: Sección simple, Sección doble, Sección triple.

### **2.2.1.2. Métodos de construcción de chimeneas**

Las minas necesitan excavaciones verticales que desempeñan funciones como la ventilación, el acceso y otros usos. Con el paso del tiempo, se ha demostrado la transformación de los métodos de edificación de chimeneas, de ser un procedimiento lento y peligroso a uno más ágil, seguro y asequible, a continuación, mostraremos algunos de estos procedimientos (Chambi, 2018).

#### **a) Método convencional de enmaderado**

El sistema tradicional se basa en la colocación de puntales de avance que permiten sostener las plataformas de trabajo, complementándose con estructuras de madera formadas por cuadros y sobrecuadros para garantizar la estabilidad. Para la perforación se emplean equipos neumáticos como Stoper y Jack Leg, utilizando barrenos de 3, 4 o 6 pies y brocas de diámetros entre 36 y 40 mm cuando la inclinación no es muy elevada. La normativa minera establece que, si la chimenea convencional supera los 20 metros, debe dividirse en dos espacios independientes: uno para el acceso del personal y otro como zona de descarga. Esta obligación no aplica en las chimeneas construidas con sistemas mecanizados. (Herrera Herbert, 2014).

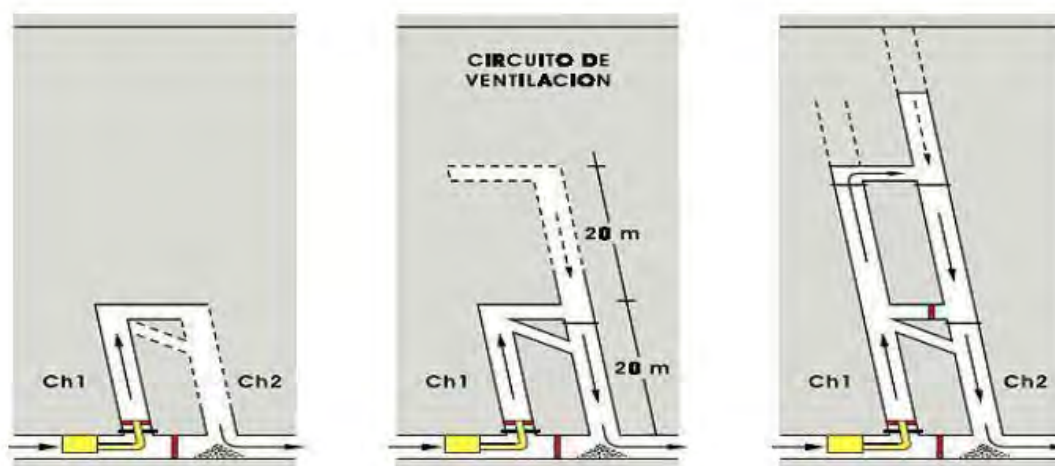
## **b) Sistema de Plataforma y Escaleras Metálicas “PEM”**

Esta reemplaza la madera (tablas y puntales) por un tipo de estructura en forma de plataforma y utilizando materiales metálicos para poder avanzar verticalmente. Cuando se compara con el método tradicional de madera, el sistema PEM ofrece una mejor eficiencia de avance y la utilización de madera es mínima. En términos de peso, todo el sistema PEM es ligero y por tanto su transporte como su montaje resultan sencillo. Además, son componentes recuperables y pueden ser reciclados (Mora, 2016).

### **Características del sistema PEM**

- Los elementos del sistema PEM son de fácil transporte debido al ligero peso de los elementos.
- La instalación de este sistema es sencilla y practica debido a su funcionalidad en lugares estrechos.
- Los elementos del sistema PEM son recuperables.
- En conformidad con lo señalado por Carranzá Zárate y Quispe Salas (2015), El diseño de las chimeneas requiere un enfoque orientado a la operatividad y protección de los trabajadores, lo que implica dividirlos en dos compartimentos: uno para circulación del personal y otro para la evacuación del material detonado. Otra opción consiste en implementar chimeneas con configuración en “H” cada 20 metros, permitiendo la conexión entre subniveles, facilitando la movilidad del personal y optimizando el flujo de aire. Dicho esquema se observa en la figura 2.

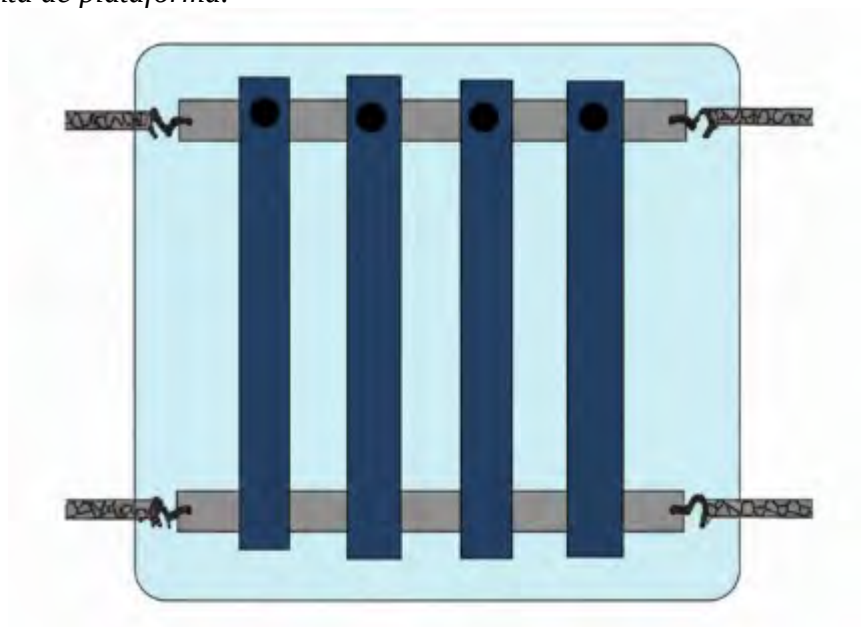
**Figura 2.**  
*Chimeneas construidas en forma de “H”.*



Nota. Fuente: Carranzá Zárate y Quispe Salas (2015)

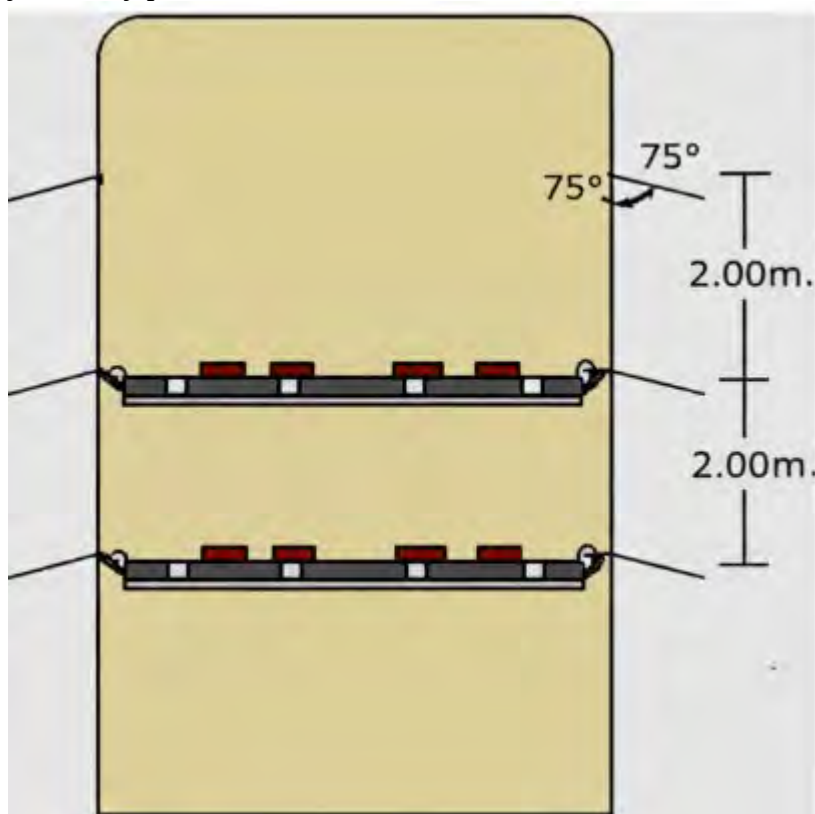
- Este sistema constructivo resulta aplicable en el levantamiento de pilotes, excavaciones profundas, túneles inclinados y diversas instalaciones relacionadas con servicios y drenaje.
- Para implementarlo, es indispensable que el macizo rocoso presente un RQD no menor de 60; este valor corresponde a un índice Q de aproximadamente 6.91 en la clasificación de Barton, lo que indica una condición estructural aceptable del terreno.
- La sección aconsejable para la chimenea se sitúa dentro del rango de 2 a 3 metros, garantizando estabilidad y eficiencia operativa.
- Habitualmente se requiere instalar como mínimo dos plataformas de trabajo, construidas con madera acorde al tamaño de la excavación, a fin de posibilitar la perforación de manera segura y evitar desprendimientos o caídas de objetos, tal como se aprecia líneas abajo.

**Figura 3.**  
*Vista en planta de plataforma.*



Nota. Fuente elaboración propia, (2025).

**Figura 4.**  
*Estructura de ejecución y protección*



Nota. Fuente elaboración propia, (2025).

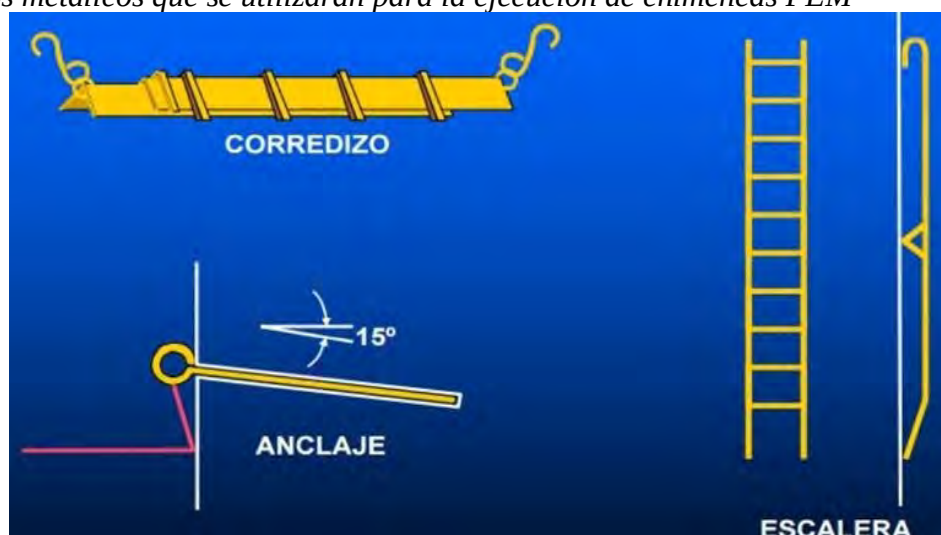
**Ventajas del Sistema PEM (Quiñones Taipe, 2024):**

- Este sistema se puede emplear en chimeneas de longitud reducida como larga, sin importar el ángulo de inclinación.
- Es posible alcanzar diferentes dimensiones y geométricas según el esquema de explotación.
- Requiere de trabajadores relativamente especializada.
- Fomenta el confort de los operarios.
- Promueve una ergonomía y entorno laboral más confortable positivo.
- Evite sucesos no previstos como accidentes e incidentes.
- Impulsa las tareas de servicio al cliente.
- La productividad se ve beneficiada por el incremento del tiempo de trabajo.
- La eficacia se ve incrementada
- Incrementa la accesibilidad mecánica de los equipos.

**Elementos del sistema PEM (González, 2018):**

- Plataformas metálicas: Superficies de trabajo livianas y de fácil montaje.
- Escaleras metálicas: Elementos instalados para permitir el desplazamiento seguro del personal.
- Anclajes metálicos: Utilizados para mantener nivelada la plataforma sobre la cual se trabaja.
- Plataformas de descanso: Estructuras que incrementan la estabilidad y seguridad operativa. Observa la figura 5.

**Figura 5.**  
*Elementos metálicos que se utilizarán para la ejecución de chimeneas PEM*



Nota. Fuente: Tovcor Ingenieros S.A.C. (2025)

### **2.2.1. Diseño de Chimenea**

Siguiendo lo explicado por Navarro (2018), la chimenea que se construirá a través de una metodología convencional y se realiza el diseño tomando en consideración los parámetros siguientes:

- Sección longitudinal
- Secciones
- Angulo de inclinación de la veta
- Tipo de matriz rocosa

En el caso de esta investigación la chimenea constara con unas medidas de 1.50 m x 3.0 m, es decir, será una estructura de doble sección con longitud límite de cincuenta metros, desde la base hasta la cima.

#### **2.2.1.1. Sección Longitudinal**

Según la norma (DS N.º 024), cuando una chimenea construida de manera convencional supera los 20 metros, debe dividirse en dos compartimientos autónomos: uno exclusivamente para el desplazamiento de los trabajadores y otro para el descenso del material fragmentado.



Esta obligación queda sin efecto en el caso de las estructuras construidas con equipos mecanizados.

En el caso de las chimeneas "H", deben comunicarse cada 20 metros. El método convencional es eficaz hasta 50 metros, pero a partir de esa longitud, los costos y la eficiencia de avance son negativos, además del mantenimiento constante del entablado. Para longitudes superiores a 50 metros, se utilizan chimeneas mellizas (H), separadas por 10 a 15 metros, y comunicadas cada 20 metros mediante un subnivel, donde una chimenea sirve de camino y la otra de echadero.

#### ***2.2.1.2. Angulo de inclinación de la veta***

El ángulo de inclinación de una veta en una unidad minera subterránea se crea y se establece en referencia con el plano horizontal. Este ángulo varía según la geología del terreno y afecta la accesibilidad y el método de extracción en las operaciones mineras, influyendo en la planificación y eficiencia de la explotación (Norman-Salome, 2020).

#### ***2.2.1.3. Clasificación del macizo rocoso***

Los macizos rocosos se encuentran naturalmente fragmentados por una red de discontinuidades que dividen la masa en bloques de distinta magnitud. El análisis de su comportamiento mecánico requiere estudiar tanto las propiedades de la roca intacta como las características físicas y geométricas de las discontinuidades (Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile, 2018). Entre los factores geológicos que controlan su respuesta estructural y resistencia se encuentran:

- Condiciones litológicas y propiedades de la roca.
- Cantidad de discontinuidades y formación geológica.
- Nivel de esfuerzos en la matriz rocosa.
- Grado de meteorización y alteraciones en la roca.
- La hidrología en la zona.

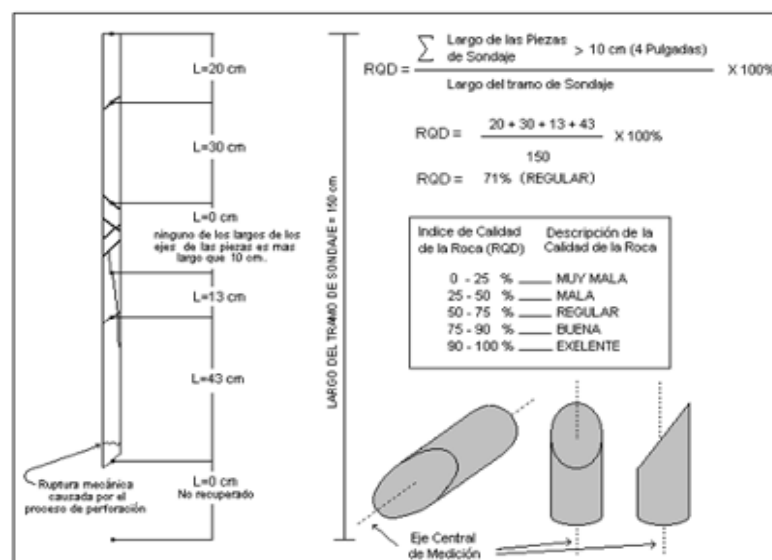
## 2.2.2. Clasificación geomecánicas

### 2.2.2.1. Índice de calidad de la roca (RQD)

El método consiste en evaluar la calidad de la roca utilizando testigos obtenidos mediante perforación. Se basa en cuantificar las muestras y calicatas que superen los 10 cm de longitud y sumar sus medidas; luego, esta suma se divide por la longitud total del testigo recuperado. Este procedimiento también puede aplicarse directamente sobre las paredes del macizo rocoso, siempre que las discontinuidades sean visibles en el terreno. Para ello, se utiliza una regla de un metro de largo para medir y contar los fragmentos de roca en las áreas donde las discontinuidades interceptan (Villavicencio, 2017).

#### Figura 6.

#### Representación de un testigo para el Cálculo de RQD



Nota. Fuente: Zelada (2017)

### 2.2.2.2. Clasificación geomecánica (RMR)

La clasificación conocida como RMR fue introducida por Bieniawski en 1973 y perfeccionada en años posteriores hasta 1989. Este sistema califica la cualificación de la matriz rocosa de cinco aspectos principales, a los cuales se les asigna puntajes que, al integrarse, generan el valor final del índice. Dicho valor puede situarse desde 0, correspondiente a un

macizo extremadamente deficiente, hasta 100, que representa condiciones rocosas de muy alta calidad. (Villavicencio, 2017).

- RCU.
- RQD
- Espacio de relleno.
- Condiciones y existencia de discontinuidad.
- Existencia de aguas.

### **2.2.3. Ciclo de minado**

Como se mencionó anteriormente, la explotación de las diversas estructuras con mineralización se realiza mediante el método de corte y relleno ascendente. Este sistema se adapta adecuadamente a vetas que tienen espesores de 1.8 a 2.5 metros y a condiciones geológicas donde las cajas y los ángulos de buzamiento cambian de forma notable. (AtlasCopco, 2007):

#### **1) Desatado**

Inspección continua de la estabilidad del frente utilizando barretas de diferentes longitudes.

#### **2) Perforación**

Realizada con perforadoras stoper en mallas de 3.0 x 1.5 m y taladros de 6 pies.

#### **3) Voladura**

La carga de los taladros se efectúa manualmente utilizando emulsiones tipo Emulnor 3000, con medidas de 1 pulgada de diámetro y 8 pulgadas de longitud. Se emplean conectores Carmex y la iniciación se realiza mediante fulminante común.

#### **4) Sostenimiento**

Para garantizar la estabilidad durante el avance, se instalan puntales en línea como soporte. En zonas donde la roca presenta baja calidad, se implementa sostenimiento adicional mediante cuadros completos que refuerzan todas las secciones de estudio.

## 5) Ventilación

Tras la detonación, la ventilación se realiza con aire comprimido, dejando la manguera ubicada a 5 metros del frente. Una vez disparados los taladros, se abre la válvula de aire para expulsar los gases y asegurar condiciones adecuadas de trabajo.

## 6) Limpieza

Se utiliza Para la remoción de material se emplean winches de arrastre o palas neumáticas.

### 2.2.4. Costos mineros en la elaboración de precios unitarios

Un costo hace referencia al valor en dinero o al esfuerzo necesario para obtener, fabricar o producir algo. Por lo general, el costo simboliza la suma de recursos que se desaprovechan o se emplean para conseguir un producto o servicio particular (Ríos, 2018).

a) Según su grado de variabilidad:

- *Costos fijos*

Se refieren a aquellos que se mantienen inalterables, sin ser impactados por el volumen producido. Estos costos permanecen inalterables, independientemente de si se genera una cantidad elevada o reducida de estos.

- *Costos variables*

Son aquellos que se modifican conforme varía el volumen producido. Las cuales se pueden enlazar con la actividad operativa: se incrementan cuando se produce más y disminuyen cuando la producción baja.

b) Según su asignación:

- *Costos directos*

Incluyen los gastos que intervienen de manera inmediata en la creación del material, como materiales y mano de obra directa, y cuyo seguimiento y asignación a una actividad específica resulta sencillo.

- *Costos indirectos*

Son desembolsos no atribuibles directamente a un proceso, pero indispensables para lograr la culminación del producto o servicio.

c) Según su comportamiento:

- *Costo total*

Es el monto acumulado de los recursos económicos utilizados en el proceso productivo. Abarca tanto costos fijos como variables y se obtiene multiplicando el costo por unidad por el total producido.

- *Costo unitario*

Corresponde al valor económico asignado a cada unidad elaborada. Se obtiene mediante la división del costo global entre el número de unidades generadas o entre el número de actividades ejecutadas.

## **2.3. Hipótesis de la investigación**

### **2.3.1. Hipótesis general**

La implementación del sistema de plataformas y escaleras metálicas (PEM) influye positivamente mejorando los indicadores de seguridad operacional, mejorando la eficiencia de avance y reduciendo los costos durante el diseño y construcción de la Chimenea CH-415 en la Unidad Minera Pomasi S.A.C., Puno

### **2.3.2. Hipótesis específicas**

- a. La implementación de plataformas y escaleras metálicas (PEM) influye positivamente mejorando los indicadores de seguridad operacional durante el diseño y construcción de la Chimenea CH-415, al reducir los índices de Frecuencia, Severidad y accidentabilidad.

- b. La implementación de plataformas y escaleras metálicas (PEM) influye positivamente mejorando la eficiencia de avance durante el diseño y construcción de la Chimenea CH-415, al incrementar los avances por disparo.
- c. La implementación del sistema de plataformas y escaleras metálicas (PEM) influye en reducir los costos de diseño y construcción de la Chimenea CH-415 en la Unidad Minera Pomasi S.A.C., Puno, al disminuir los costos asociados a mano de obra y materiales.

## 2.4. Variables e indicadores

### 2.4.1. Variable dependiente

Desempeño del proceso constructivo:

- Seguridad Operacional
- Eficiencia de avance
- Costos de construcción.

### 2.4.2. Variable independiente

Implementación del Sistema de plataformas y escaleras metálicas (PEM)

### 2.4.3. Operacionalización de variables

| Variable      |                                                                       | Dimensiones           | Indicadores                                        | Medida         |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------------------------------------------|----------------|
| INDEPENDIENTE | Implementación del sistema de plataformas y escaleras                 | PEM                   | Sección de Chimenea                                | m <sup>2</sup> |
|               |                                                                       |                       | Elementos del Sistema PEM                          | Und.           |
| DEPENDIENTE   | Seguridad operacional, Eficiencia de avance y Costos de construcción. | Seguridad Operacional | Índice de Frecuencia, Severidad y Accidentabilidad | %              |
|               |                                                                       | Costo de construcción | Costos directos por me lineal                      | \$/m           |
|               |                                                                       | Eficiencia de avance  | Avance promedio por mes                            | m/mes          |
|               |                                                                       |                       | Número de disparo                                  | Disparos/m     |
|               |                                                                       |                       | Tiempo total de ejecución de la chimenea Ch 415    | Días           |

## 2.5. Bases Conceptuales

En esta sección se establece algunos conceptos y definiciones relevantes para el entendimiento del tema de investigación:

**Galería:** Es una excavación horizontal realizada sobre la mina para poder acceder a los recursos minerales (Herrera Herbert, 2014).

**Nivel:** Galería con disposición de acceso directamente a la rampa y estructuras de la mina (Herrera Herbert, 2014).

**Tajo:** Se utiliza para designar el lugar o frente asignado (AtlasCopco, 2007).

**Cuerpo mineralizado:** Es una concentración de minerales que presenta una configuración irregular y que, en la mayor cantidad de eventos, ocupa volúmenes significativos dentro del macizo rocoso (Yucra Cartolin, 2021).

**Veta:** Estructura geológica de mineralización continua y alargada, caracterizada por una inclinación casi vertical y delimitada por las paredes o cajas de la roca encajante (Herrera Herbert, 2014).

**Buzamiento:** Define la inclinación que adopta un depósito mineral con relación a la superficie horizontal (Quiñones Taipe, 2024).

**Incremento:** Es el crecimiento o aumento que experimenta un valor en un periodo específico, evidenciando una variación positiva (Rodríguez Gutiérrez, 2021).

**Labor de explotación:** Comprende las operaciones mineras destinadas a la remoción y obtención del mineral, ejecutadas exclusivamente en sectores donde existe presencia comprobada de mineralización (Rodríguez Gutiérrez, 2021).

**Ciclo de minado:** pasos básicos utilizados en la producción del mineral (durante su extracción) y las operaciones auxiliares que se utilizan para sustentarlos (Herrera Herbert, 2014).

**Ventilación:** Flujo de ventilación destinado a garantizar condiciones adecuadas para personas y equipos. (Herrera Herbert, 2014).

**Relleno:** Material estéril con el que se hueco explotado (Rodríguez Gutiérrez, 2021).

**Puntal:** Pieza de eucalipto o madera de pino empleada como soporte del techo (Herrera Herbert, 2014).

**Beneficio:** Mejora u optimización de cualquier parámetro de medición de cualquier indicador (Herrera Herbert, 2014).

**Minera:** Agregado de minerales económicamente rentable dentro de las operaciones de extracción (Rodríguez Gutiérrez, 2021).

**Mena:** Mineral con contenidos valiosos para su comercialización (Herrera Herbert, 2014).

**Productividad:** comprende una medición del tipo económica, donde se realiza el cálculo de cuantos servicios y productos se han producido por cada hora de trabajo empleando un lapso de tiempo determinado en un área específica (Herrera Herbert, 2014).

**Eficiencia:** Este se calcula de las horas de trabajo realizado por unidad de tiempo, los recursos empleados (materiales, equipos y mano de obra) y la calidad de la construcción.

La eficiencia también puede abarcar aspectos como la velocidad de avance en la excavación o construcción de la labor minera, el uso eficiente de los materiales y la optimización de costos operativos, siempre asegurando la seguridad y el cumplimiento de las normativas vigentes. Un buen rendimiento en la construcción de labores mineras resulta en una mayor productividad y menores costos operativos, lo que mejora la rentabilidad y sostenibilidad de las operaciones mineras a largo plazo (AtlasCopco, 2007).

**Recursos:** Elemento, factor o instrumento involucrados en la producción del bien y servicio, cuyo propósito está orientado a satisfacer las necesidades de una sociedad (Ministerio de Energía y Minas, 2017).

**Seguridad Laboral:** Son un conjunto de acciones, reglas y medidas que se toman en un entorno de trabajo para proteger a los empleados de posibles accidentes, lesiones o enfermedades. Esto incluye el uso de equipo de protección personal adecuado, como cascos,



guantes y botas, así como la capacitación constante sobre los riesgos que pueden presentarse en el lugar de trabajo. Además, implica la implementación de procedimientos para prevenir accidentes, como la señalización de áreas peligrosas, el mantenimiento de equipos en buen estado y la correcta manipulación de materiales. La seguridad laboral también involucra la creación de un ambiente de trabajo saludable y la promoción de prácticas que contribuyan al bienestar físico y mental de los trabajadores.

**Indicadores de Accidentalidad:** Los indicadores de accidentalidad son herramientas estadísticas que permiten medir y evaluar la frecuencia y gravedad de los accidentes laborales en las actividades mineras. Estos indicadores son fundamentales para identificar áreas de riesgo, evaluar la eficacia de las medidas de seguridad implementadas y mejorar continuamente las condiciones laborales.

**Índice de Frecuencia:** El índice de Frecuencia representa la dimensión de frecuencia de accidentabilidad midiendo accidentes que interrumpen la operación normal. En otras palabras, el IF revela cuantos eventos disruptivos por cada millón de horas de riesgo equivalente. (Ministerio de Energía y Minas, 2017)

**Índice de Severidad:** El índice de severidad representa la gravedad promedio de los accidentes cuantificado en días perdidos por cada millón de horas trabajadas, este valor indica la intensidad lesiva de accidentes, valores mayores a 4000 indican lesión moderada a graves, valores menores a 1000 indican lesiones o accidentes menores. (Ministerio de Energía y Minas, 2017)

**Índice de Accidentabilidad:** Este indicador representa el riesgo laboral de una actividad, al combinar la frecuencia de accidentes con su severidad (medida en tiempo perdido). Permite clasificar la actividad como segura o crítica: según el MINEM, un IA menor a 200 se considera excelente, entre 200 y 500 es aceptable, y mayor a 1000 representa un nivel crítico.

**Peligro:** Se define como cualquier condición, elemento o característica que, por su propia naturaleza, tiene el potencial de causar daños materiales, personales, operativos o ambientales.(Ministerio de Energia y Minas, 2017)

**Riesgo:** Hace referencia a la probabilidad de que un peligro se convierta en un evento dañino bajo determinadas circunstancias, afectando a trabajadores, maquinaria, procesos o al ecosistema. (Ministerio de Energia y Minas, 2017)

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. Tipo de la investigación**

De acuerdo Hernández en su libro desarrollado el 2016 que las investigaciones aplicadas se caracterizan por solucionar el problema concreto, tal es el caso la investigación actual, igualmente se utiliza el enfoque cuantitativo a causa de utilización de distintas herramientas matemáticas para probar la veracidad de ciertas hipótesis. (Hernandez Sampieri, 2016)

#### **3.2. Diseño de la investigación**

Correlacional no experimental: la investigación es del tipo NO EXPERIMENTAL porque analiza una situación real de diseño y construcción de la Ch. 415, que se realiza durante un periodo de tiempo a través de un enfoque transversal durante un periodo de tiempo. (Hernandez Sampieri, 2016)

#### **3.3. Nivel de investigación**

Esta investigación tiene un nivel explicativo, debido a que las variables de estudios buscan dar explicación al comportamiento de los parámetros en la zona, es decir, como la implementación del Sistema PEM va influir en la Seguridad Operacional, Eficiencia de avance y Costos de Construcción. (Hernandez Sampieri, 2016)

### **3.4. Población y Muestra**

#### **3.4.1. Descripción de la Población**

De acuerdo a Carrasco, la población comprende todos los elementos dentro del área de estudio, por tanto, la población de estudio es la Unidad Minera Pomasi S.A.C, conformada por labores mineras subterráneas. (Carrasco Diaz, 2005)

#### **3.4.2. Descripción de la Muestra**

La muestra de la presente investigación consiste en un fragmento representativo de la población en estudio: la Chimenea Ch. 415, diseñada y construida mediante el método de sistemas PEM. Se seleccionó mediante un muestreo no probabilístico intencional, basado en criterios de conveniencia. (Carrasco Diaz, 2005)

### **3.5. Recolección de datos**

La obtención de la información se desarrolló en campo, acorde a las características del estudio y a las posibilidades reales de acceso a la data, considerando factores como el tamaño poblacional, los recursos disponibles y el momento adecuado para la recopilación. Los datos se reunieron mediante técnicas de análisis y observación no experimental (Hernandez Sampieri, 2016)

**Análisis datos:** Implica obtener y procesar información directamente desde fuentes primarias, identificando las variables clave que serán analizadas en la investigación.

**Observación no experimental:** Permite examinar el comportamiento del fenómeno de exploración sin manipular las condiciones en que este ocurre.

Los instrumentos empleados en resumen fueron los siguientes a observar:

- Cuaderno de apunte y laptop
- Topografía de las diferentes áreas y secciones con la elaboración de planos
- Datos de la Unidad Minera Pomasi S.A.C.

- Procedimientos y parámetros operacionales de la construcción de chimeneas en la Unidad Minera Pomasi S.A.C.

### **3.6. Procesamiento de datos**

El análisis de la información se desarrolló mediante una evaluación detallada de los datos, los cuales también fueron representados gráficamente para visualizar patrones y tendencias que podrían pasar desapercibidos. En la investigación se hará uso de Excel para el procesamiento en hojas de cálculo y de AutoCAD para elaborar y revisar los planos requeridos en el análisis de los datos obtenidos.

### **3.7. Diseño y Construcción de la Chimenea Ch 415 con Plataformas y Escaleras Metálicas (PEM)**

#### ***3.7.1. Identificación del área para la ejecución de la chimenea 415***

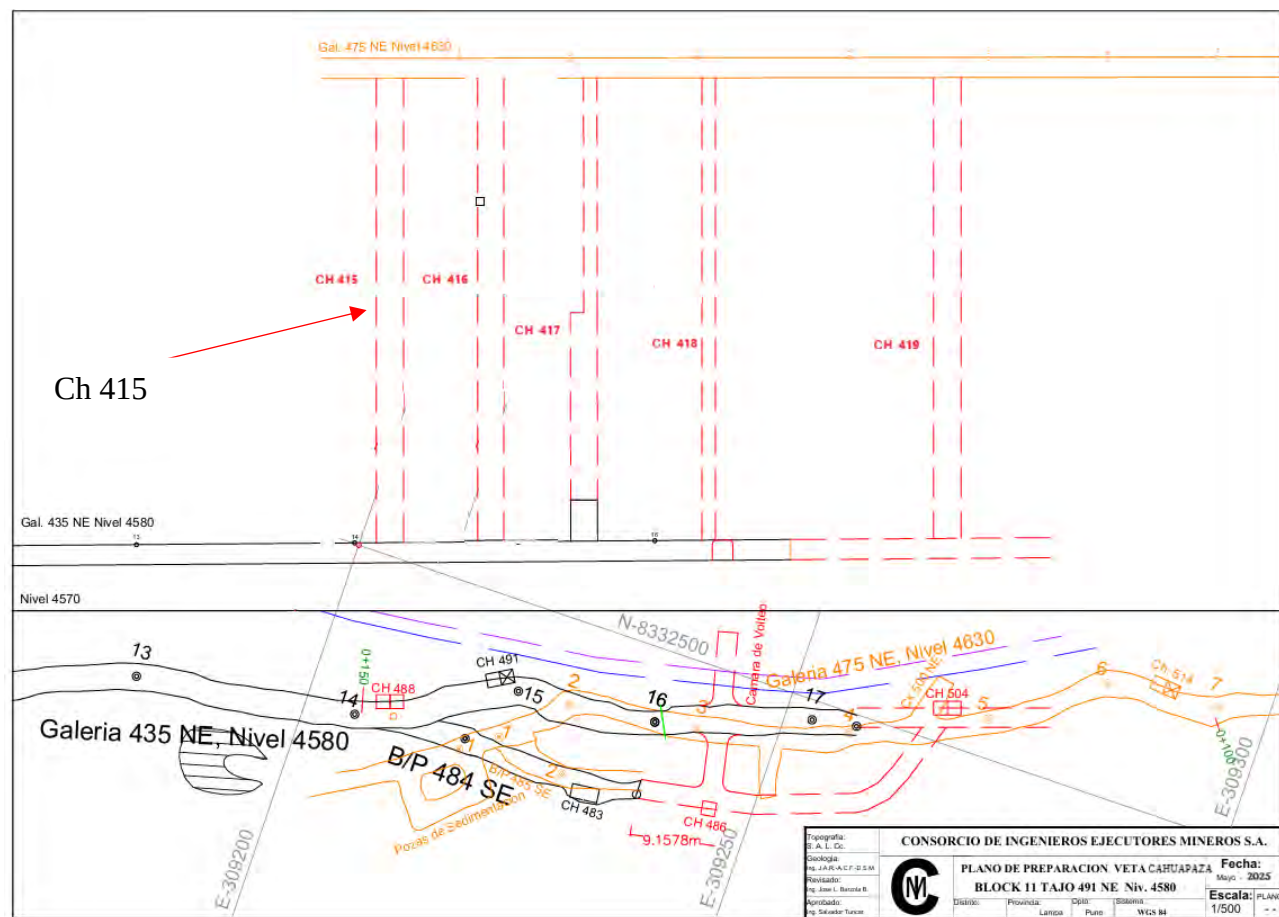
La determinación del área destinada para el diseño y ejecución de estructuras de acceso a una mina es un procedimiento técnico que considera múltiples aspectos relacionados con la seguridad, la logística y el diseño. Entre estos factores se incluyen:

- Llevar a cabo un análisis geotécnico y geológico con el fin de entender las características del macizo rocoso y evaluar la estabilidad del terreno en la zona elegida para la chimenea, aspecto clave para asegurar la integridad estructural de la obra.
- Analizar la factibilidad de diseño y construcción desde el punto de vista logístico, considerando el acceso a la zona, la facilitación del transporte de insumos y materiales, la disponibilidad de personal calificado y otros elementos que puedan influir en el desarrollo del proyecto.

Considerando estas consideraciones, la zona adecuada para comenzar la construcción adecuada de las chimeneas en la unidad minera que está ubicada en el nivel 4580, block 11, tajo 491 de la veta Cahuapaza.

**Figura 7.**

*Plano de ubicación de la Chimenea 415*



encontrada. El propósito principal de estas clasificaciones es caracterizar el macizo rocoso a través de múltiples parámetros que se asignan valores específicos. Mediante este proceso se obtiene un índice representativo del macizo, que sirve para describir cuantitativamente su calidad.

Los trabajos desarrollados durante el proyecto relacionados con las clasificaciones geomecánicas incluyen: realizar un estudio geológico detallado del recorrido previsto para el diseño y construcción de chimeneas, analizando características como las litologías, la resistencia de las rocas, el estado de las fracturas y la presencia de agua, entre otros aspectos, aplicando el sistema de Plataformas y Escaleras Metálicas. También se calcula el índice de clasificación a lo largo de toda la longitud de la chimenea. Arocutipa Charrez, 2015, recomienda emplear al menos dos sistemas de clasificación, siendo los más comunes el de Bieniawski y el de Barton. Según los índices de calidad obtenidos y la experiencia del equipo ejecutor, se asigna el sostenimiento adecuado para cada tramo del proyecto.

A lo largo del tiempo, se han diseñado y aplicado diversos sistemas para clasificar macizos rocosos. Entre los primeros se encuentran los métodos desarrollados por Terzaghi, Protodyakonov y Lauffer. En la actualidad, predominan principalmente dos sistemas: el propuesto por Bieniawski, conocido como RMR, y el desarrollado por Barton, denominado sistema Q.

#### **A. Clasificación de Bieniawski.**

El presente estudio se fundamenta en la aplicación del sistema de clasificación geomecánica RMR (Rock Mass Rating), propuesto por Bieniawski, 1973, con el objetivo de determinar la estabilidad y calidad del macizo rocoso. La obtención de los parámetros requeridos por esta metodología se realizó a través de un levantamiento de mapeo estructural en campo, complementado con la información histórica suministrada por el departamento de geología.

## Caracterización del Macizo Rocosó

**Figura 8.**  
*Valor de la matriz rocosa*

| PARÁMETRO                                  | RANGO DE VALORES Y VALORIZACIONES |                 |                       |                     |                   |                     |            | VALORACIÓN |
|--------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------|-----------------------|---------------------|-------------------|---------------------|------------|------------|
| RESISTENCIA CARGA PUNTUAL                  | > 10MPa (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                      | < 1 m Long. (6) | x 1-3 m Long. (4)     | 3-10 mm (2)         | 10-20 mm (1)      | > 20 mm (0)         | 4A         | 4          |
|                                            | APERTURA                          | Cerrada (6)     | x < 0,1 mm apert. (5) | 0,1-1,0 mm (3)      | 1-5 mm (1)        | > 5 mm (0)          | 4B         | 5          |
|                                            | RUGOSIDAD                         | Muy rugosa (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 < 5mm (1)   | Suave > 5mm (0)     | 4D         | 4          |
|                                            | ALTERACIÓN                        | Sana (6)        | Lig. Alterada (5)     | x Mod. Alterada (3) | Muy. Alterada (2) | Descompuesta (0)    | 4E         | 3          |
| AGUA SUBTERRÁNEA                           | x Seco (15)                       |                 | Húmeda (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      |            |
| DESCRIPCIÓN                                | I MUY BUENA                       |                 | II BUENA              |                     | III REGULAR       |                     | IV MALA    |            |
|                                            |                                   |                 |                       |                     |                   |                     | V MUY MALA |            |

| Pámetros de clasificación                      | Clasificación         | Puntuación        |
|------------------------------------------------|-----------------------|-------------------|
| <b>1 Resistencia de la matriz rocosa (Mpa)</b> |                       |                   |
| Ensayo de carga puntual                        | 10-4                  | 12                |
| Compresión simple                              | Na aplica             | 0                 |
| <b>2 Índice RQD de la roca</b>                 |                       |                   |
| RQD (%)                                        | 75-90                 | 17                |
| <b>3 Separación entre diaclasas</b>            |                       |                   |
| Separación entre diaclasas (m)                 | 0,2-0,6               | 10                |
| <b>4 Estado de las discontinuidades</b>        |                       |                   |
| Longitud de la discontinuidad (m)              | 1-3                   | 4                 |
| Abertura (mm)                                  | < 0,1                 | 5                 |
| Rugosidad                                      | Ruqosa                | 5                 |
| Relleño                                        | Rollena dura, < 5 mm  | 4                 |
| Alteraciones                                   | Madona. Alteradamento | 3                 |
| <b>5 Agua freática</b>                         |                       |                   |
| Caudal por 10 m de tunel                       | Na aplica             | 0                 |
| Presión agua/Tensión principal mayor           | Na aplica             | 0                 |
| Estado general                                 | Seca                  | 15                |
| <b>Corrección por discontinuidades</b>         | <b>Clasificación</b>  | <b>Puntuación</b> |
| Túneles                                        | Na aplica             | 0                 |
| Cimentaciones                                  | Na aplica             | 0                 |
| Taludes                                        | Na aplica             | 0                 |
| <b>Puntuación</b>                              |                       | <b>75</b>         |

Nota. Fuente: Área de Geología mina.



**Figura 9.**  
*Valoración del Macizo Rocoso*

| PARÁMETRO                                  |              | RANGO DE VALORES Y VALORIZACIONES |           |                     |             |                   |            | VALORACIÓN        |           |                     |           |            |    |
|--------------------------------------------|--------------|-----------------------------------|-----------|---------------------|-------------|-------------------|------------|-------------------|-----------|---------------------|-----------|------------|----|
| RESISTENCIA CARGA PUNTUAL                  |              | > 10MPa (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)                          | x         | 0,6-2 (15)          |             | 0,2-0,6 (10)      |            | 0,06-0,2 (8)      |           | < 0,06 (5)          | 3         | 15         |    |
| CONDICIÓN DE JUNTAS                        | PERSISTENCIA | < 1 m Long. (6)                   | x         | 1-3 m Long. (4)     |             | 3-10 mm (2)       |            | 10-20 m (1)       |           | > 20 m (0)          | 4A        | 4          |    |
|                                            | APERTURA     | Cerrada (6)                       | x         | < 0,1 mm apert. (5) | x           | 0,1-1,0 mm (3)    |            | 1-5 mm (1)        |           | > 5mm (0)           | 4B        | 3          |    |
|                                            | RUGOSIDAD    | Muy rugosa (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 < 5mm (1)   |           | Suave > 5mm (0)     | 4D        | 4          |    |
|                                            | ALTERACIÓN   | Sana (6)                          |           | Lig. Alterada (5)   | x           | Mod. Alterada (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) |              |                                   |           |                     |             |                   |            |                   |           |                     | 78        |            |    |
| CLASE DE MACIZO ROCOSO                     |              |                                   |           |                     |             |                   |            |                   |           |                     |           |            |    |
| RMR                                        |              |                                   |           | 100-81              |             | 80-61             |            | 60-41             |           | 40-26               |           | 25-0       |    |
| DESCRIPCIÓN                                |              |                                   |           | I MUY BUENA         |             | II BUENA          |            | III REGULAR       |           | IV MALA             |           | V MUY MALA |    |

| Pámetros de clasificación                      | Clasificación         | Puntuación        |
|------------------------------------------------|-----------------------|-------------------|
| <b>1 Resistencia de la matriz rocosa (Mpa)</b> |                       |                   |
| Ensayo de carga puntual                        | 10-4                  | 12                |
| Compresión simple                              | Na aplica             | 0                 |
| <b>2 Índice RQD de la roca</b>                 |                       |                   |
| RQD (%)                                        | 75-90                 | 17                |
| <b>3 Separación entre diaclasas</b>            |                       |                   |
| Separación entre diaclasas (m)                 | 0,6-2                 | 15                |
| <b>4 Estado de las discontinuidades</b>        |                       |                   |
| Longitud de la discontinuidad (m)              | 1-3                   | 4                 |
| Abertura (mm)                                  | 0,1-1,0               | 3                 |
| Rugosidad                                      | Rugosa                | 5                 |
| Relleno                                        | Relleno duro, <5 mm   | 4                 |
| Alteraciones                                   | Modera. Alteradamento | 3                 |
| <b>5 Agua freática</b>                         |                       |                   |
| Caudal por 10 m de tunel                       | Na aplica             | 0                 |
| Presión agua/Tensión principal mayor           | Na aplica             | 0                 |
| Estado general                                 | Seco                  | 15                |
| <b>Corrección por discontinuidades</b>         | <b>Clasificación</b>  | <b>Puntuación</b> |
| Túneles                                        | Na aplica             | 0                 |
| Cimentaciones                                  | Na aplica             | 0                 |
| Taludes                                        | Na aplica             | 0                 |
| <b>Puntuación</b>                              |                       | <b>78</b>         |

Nota. Fuente: Área de Geología, mina.

## B. Índice de Calidad de Roca RQD

Es un indicador cuantitativo que nos sirvió para caracterizar la calidad y estabilidad geomecánica de una formación rocosa. Este índice mide la capacidad de la roca para absorber

esfuerzos y deformaciones dentro del rango elástico, previo a su colapso. La calidad de la roca se expresa a través de una escala numérica que define categóricamente su resistencia relativa de la roca.

**Figura 10.**

*Cuadro de Logueo de Testigos, Zona Cahuapaza.*

| LOGUEO, LONGITUD: 65.85 METROS |                     |                      |          |                           |    |    |    |    |    |    |    |                      |          |        |
|--------------------------------|---------------------|----------------------|----------|---------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----------------------|----------|--------|
| N° de caja                     | CORRIDA INFERIOR(m) | CORRIDA SUPERIOR (m) | LONGITUD | LONGITUD DE PARTE ≥ 10 cm |    |    |    |    |    |    |    | SUMA DE LONG ≥ 10 cm | RQD      | POND   |
| 20                             | 167.75              | 169.00               | 1.25     | 19                        | 20 | 12 | 19 | 10 |    |    |    | 0.80                 | 64%      | 0.800  |
| 20                             | 169.00              | 170.50               | 1.50     | 18                        | 11 | 18 | 14 | 11 |    |    |    | 0.72                 | 48%      | 0.720  |
| 21                             | 170.50              | 172.00               | 1.50     | 17                        | 28 | 20 | 30 | 17 |    |    |    | 1.12                 | 75%      | 1.120  |
| 21                             | 172.00              | 173.50               | 1.50     | 16                        | 53 | 36 | 15 |    |    |    |    | 1.20                 | 80%      | 1.200  |
| 22                             | 173.50              | 174.90               | 1.40     | 26                        | 16 | 22 | 14 | 13 | 31 |    |    | 1.22                 | 87%      | 1.220  |
| 22                             | 174.90              | 176.50               | 1.60     | 11                        | 18 | 19 | 15 | 11 | 11 |    |    | 0.85                 | 53%      | 0.850  |
| 23                             | 176.50              | 177.90               | 1.40     | 20                        | 13 | 22 |    |    |    |    |    | 0.55                 | 39%      | 0.550  |
| 23                             | 177.90              | 179.50               | 1.60     | 22                        | 22 | 12 | 21 | 34 | 13 |    |    | 1.24                 | 78%      | 1.240  |
| 24                             | 179.50              | 181.00               | 1.50     | 32                        | 27 | 15 | 13 | 15 | 15 | 16 | 17 | 1.50                 | 100%     | 1.500  |
| 24                             | 181.00              | 182.35               | 1.35     | 12                        | 26 | 22 | 12 |    |    |    |    | 0.72                 | 53%      | 0.720  |
| 25                             | 182.35              | 183.95               | 1.60     | 13                        | 17 | 18 | 12 | 29 |    |    |    | 0.89                 | 56%      | 0.890  |
| 25                             | 183.95              | 185.50               | 1.55     | 12                        | 24 | 27 | 12 | 42 |    |    |    | 1.17                 | 75%      | 1.170  |
| 26                             | 185.50              | 187.00               | 1.50     | 25                        | 20 | 12 | 17 | 36 |    |    |    | 1.10                 | 73%      | 1.100  |
| 26                             | 187.00              | 188.50               | 1.50     | 13                        | 32 | 15 | 40 |    |    |    |    | 1.00                 | 67%      | 1.000  |
| 27                             | 188.50              | 190.00               | 1.50     | 18                        | 24 | 38 | 17 | 12 |    |    |    | 1.09                 | 73%      | 1.090  |
| 27                             | 190.00              | 191.50               | 1.50     | 34                        | 51 | 11 | 13 | 33 |    |    |    | 1.42                 | 95%      | 1.420  |
| 28                             | 191.50              | 192.90               | 1.40     | 20                        | 40 | 32 | 26 | 12 |    |    |    | 1.30                 | 93%      | 1.300  |
| 28                             | 192.90              | 194.40               | 1.50     | 47                        | 44 | 11 | 12 |    |    |    |    | 1.14                 | 76%      | 1.140  |
| 29                             | 194.40              | 196.00               | 1.60     | 18                        | 27 | 36 | 20 | 27 |    |    |    | 1.28                 | 80%      | 1.280  |
| 29                             | 196.00              | 196.85               | 0.85     | 19                        |    |    |    |    |    |    |    | 0.19                 | 22%      | 0.190  |
| 30                             | 196.85              | 198.45               | 1.60     | 42                        | 13 | 22 | 16 | 18 |    |    |    | 1.11                 | 69%      | 1.110  |
| 30                             | 198.45              | 200.05               | 1.60     | 13                        | 45 | 13 | 28 | 17 | 29 |    |    | 1.45                 | 91%      | 1.450  |
| 31                             | 200.05              | 201.65               | 1.60     | 29                        | 15 | 29 | 11 | 33 | 15 | 15 |    | 1.47                 | 92%      | 1.470  |
| 31                             | 201.65              | 203.25               | 1.60     | 34                        | 22 | 37 | 21 | 33 |    |    |    | 1.47                 | 92%      | 1.470  |
| 32                             | 203.25              | 204.85               | 1.60     | 50                        | 60 | 50 |    |    |    |    |    | 1.60                 | 100%     | 1.600  |
| 32                             | 204.85              | 206.45               | 1.60     | 59                        | 60 | 35 |    |    |    |    |    | 1.54                 | 96%      | 1.540  |
| 33                             | 206.45              | 208.85               | 2.40     | 19                        | 44 | 14 | 20 | 33 | 11 | 14 |    | 1.55                 | 65%      | 1.550  |
| 33                             | 208.85              | 210.30               | 1.45     | 31                        | 40 | 17 | 17 | 40 |    |    |    | 1.45                 | 100%     | 1.450  |
| 34                             | 210.30              | 211.70               | 1.40     | 10                        | 12 | 14 | 15 | 13 | 59 |    |    | 1.23                 | 88%      | 1.230  |
| 34                             | 211.70              | 213.25               | 1.55     | 15                        | 12 | 41 | 57 |    |    |    |    | 1.25                 | 81%      | 1.250  |
| 35                             | 213.25              | 214.75               | 1.50     | 38                        | 39 | 21 | 28 | 21 |    |    |    | 1.47                 | 98%      | 1.470  |
| 35                             | 214.75              | 215.85               | 1.10     | 33                        | 57 | 20 |    |    |    |    |    | 1.10                 | 100%     | 1.100  |
| 36                             | 215.85              | 217.35               | 1.50     | 18                        | 33 | 60 | 21 |    |    |    |    | 1.32                 | 88%      | 1.320  |
| 36                             | 217.35              | 218.95               | 1.60     | 54                        | 56 | 26 | 15 |    |    |    |    | 1.51                 | 94%      | 1.510  |
| 37                             | 218.95              | 220.55               | 1.60     | 14                        | 18 | 58 | 40 |    |    |    |    | 1.30                 | 81%      | 1.300  |
| 37                             | 220.55              | 222.15               | 1.60     | 34                        | 31 | 19 | 58 | 15 |    |    |    | 1.57                 | 98%      | 1.570  |
| 38                             | 222.15              | 223.65               | 1.50     | 56                        | 58 | 36 |    |    |    |    |    | 1.50                 | 100%     | 1.500  |
| 38                             | 223.65              | 224.65               | 1.00     | 10                        | 11 | 14 | 34 |    |    |    |    | 0.68                 | 68%      | 0.680  |
| 39                             | 224.65              | 226.25               | 1.60     | 14                        | 15 | 18 | 12 | 32 | 39 | 11 |    | 1.41                 | 88%      | 1.410  |
| 39                             | 226.25              | 227.15               | 0.90     | 60                        | 13 | 11 |    |    |    |    |    | 0.84                 | 93%      | 0.840  |
| 40                             | 227.15              | 229.40               | 2.25     | 60                        | 68 | 37 | 40 | 19 |    |    |    | 2.24                 | 100%     | 2.240  |
| 40                             | 229.40              | 230.95               | 1.55     | 21                        | 18 | 42 | 60 |    |    |    |    | 1.41                 | 91%      | 1.410  |
| 41                             | 230.95              | 232.05               | 1.10     | 20                        | 30 | 23 |    |    |    |    |    | 0.73                 | 66%      | 0.730  |
| 41                             | 232.05              | 233.60               | 1.55     | 21                        | 18 |    |    |    |    |    |    | 1.41                 | 91%      | 1.400  |
|                                |                     | Subtotal             | 65.85    |                           |    |    |    |    |    |    |    |                      | Subtotal | 53.100 |

Nota. Fuente: Área de Geología, mina.

### **3.7.3. Análisis Geomecánico en la Chimenea Ch 415**

La caracterización de la calidad de la matriz rocosa en la Chimenea Ch 415, ubicado entre los niveles 4630 y 4580, se fundamentó en la evaluación de tres parámetros geotécnicos críticos:

- Densidad de discontinuidades o Espaciamiento entre fracturas: Este factor cuantifica la frecuencia y la separación entre las fracturas presentes. La estimación se realizó mediante inspección visual directa del frente y el uso de un martillo de geólogo para corroborar la sonoridad de la roca y la espaciación de las juntas.
- Condición de las discontinuidades o Calidad de Fracturas: Se analizaron las propiedades intrínsecas de las fracturas, incluyendo su abertura, la rugosidad de sus paredes y su persistencia a lo largo del macizo.
- Presencia de Agua: Se evaluó el flujo de agua subterránea, considerando su caudal y distribución dentro de la masa rocosa. Esto se determinó mediante observación directa y la medición de humedad.

Con base en el análisis integral de estos parámetros in situ, se asignó al macizo rocoso una clasificación RMR Clase II. Es crucial señalar que este sistema de clasificación establece una correlación directa: un índice RMR más alto indica una superior calidad geomecánica y, por ende, una mayor estabilidad del macizo. Finalmente, se corroboró que el agua en el macizo rocoso es despreciable.

### **3.7.4. Diseño de la chimenea ch 415**

La etapa de diseño de una chimenea en operaciones mineras subterráneas constituye un proceso de ingeniería especializado, cuyo objetivo es la planificación integral de la localización, geometría, configuración estructural y especificaciones técnicas de un conducto de orientación vertical o inclinado. Para el caso específico de la Chimenea 415, concebida como un acceso más rápido a la zona mineralizada de la veta Cahuapaza, este procedimiento

integra criterios geomecánicos, de estabilidad, dinámicos de flujo de aire y de estricto cumplimiento normativo, con la finalidad de asegurar tanto la eficacia funcional como la seguridad operativa en el entorno subterráneo.

#### **A. Localización de la Chimenea**

El diseño y construcción de la chimenea Ch 415 se localizó entre los niveles 4630 y 4580,

**Tabla 2.**

*Ubicación de la Chimenea 415*

| <b>Nivel</b> | <b>Labor</b> |
|--------------|--------------|
| <b>4630</b>  | Gal. 475 NE  |
| <b>4580</b>  | Gal. 435 NE  |

Nota. Fuente: Elaboración Propia

#### **B. Longitud e inclinación de la Chimenea Ch 415**

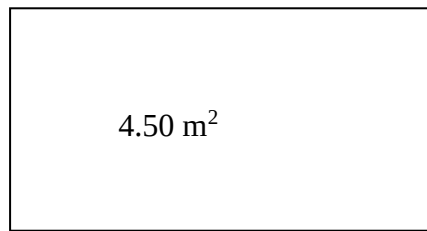
Para la presente investigación, se analizará una chimenea de 50 m de longitud con una sección de 3 m. x 1.50 m., cuya geometría permite su uso simultáneo como camino y echadero. La estrategia de diseño para compatibilizar estos dos propósitos consiste en la sectorización del conducto mediante una separación construida con tableros.

#### **C. Sección de la Chimenea Ch 415**

En cuanto a la Sección de la Chimenea Ch 415, la sección propuesta en cuanto a la funcionalidad del proyecto corresponde a una sección de 3 m. x 1.50 m., la cual facilitara el desplazamiento de las plataformas metálicas; En este entender la sección de la Ch 415 está representada por una sección rectangular:

**Figura 11.**

*Representación de la Sección Rectangular*



Nota. Fuente: Elaboración propia

#### **D. Parámetros de diseño de la chimenea – 415**

Estos se configuraron de manera técnica para establecer valores tales como:

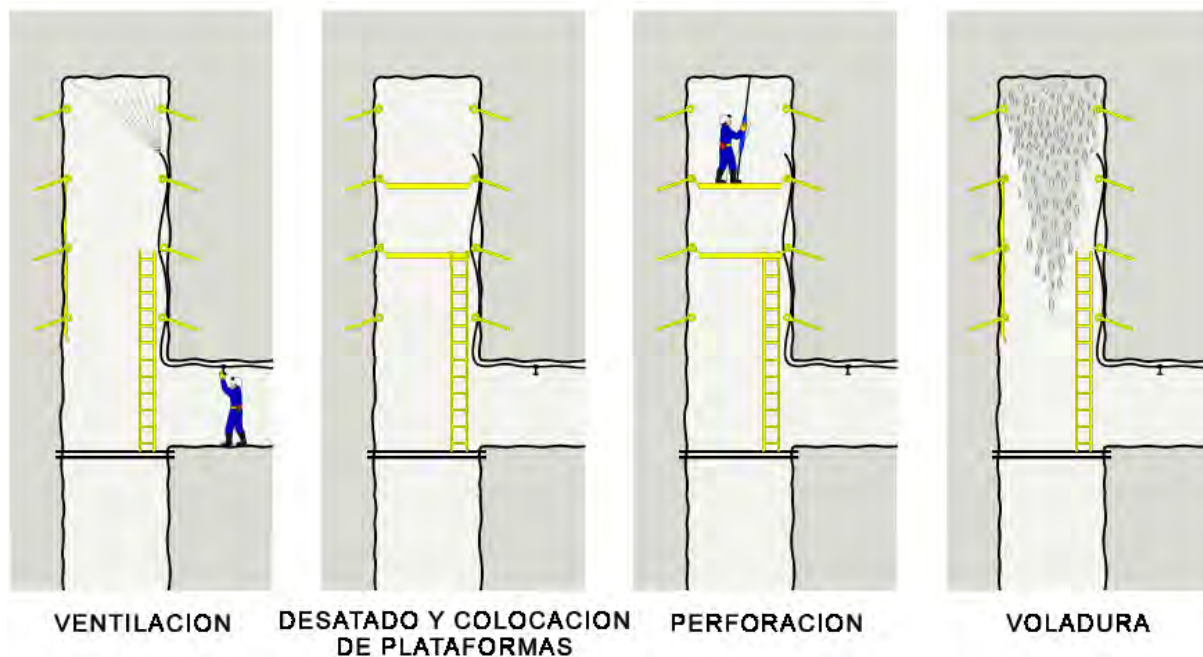
- Longitud aprox.: 50 m.
- Sección: Rectangular 3 m. x 1.50 m.
- Inclinação: 90°
- Tipo de roca: II

#### **3.7.4. Secuencia operacional en el diseño y construcción de la chimenea Ch 415 con plataformas y escaleras metálicas**

La implementación de la nueva metodología conlleva una optimización significativa del ciclo de trabajo por guardia. Esta eficiencia se manifiesta en una reducción del tiempo efectivo de operación, primordialmente al eliminar las actividades asociadas a la preparación del enmaderado y, por consiguiente, las horas-hombre destinadas a esta labor (este contraste se evidencia de manera comparativa en la Figura 12). Este hecho corrobora la hipótesis inicial de que la adopción de técnicas modernas libera recursos temporales y humanos, incrementando la productividad global del ciclo minero.

**Figura 12.**

*Secuencia Operacional*



Nota. Fuente: Elaboración propia, (2025).

**a) Ventilación**

Tras cada evento de voladura en una chimenea minera, se implementa de manera inmediata y obligatoria un protocolo de acondicionamiento ambiental. Este procedimiento consta de dos etapas críticas y simultáneas: Ventilación forzada con Aire Comprimido y Supresión de Polvo mediante Nebulización de Agua.

**b) Desatado**

Una vez finalizado el proceso de ventilación post-voladura y verificada la calidad del aire mediante mediciones instrumentales que garantizan la concentración de oxígeno se encuentra dentro de los límites seguros y la ausencia de gases tóxicos, se procede a la ejecución del desatado de rocas. Esta actividad crítica consiste en la identificación, barrido y remoción sistemática de material geológico inestable (rocas sueltas, rocas fracturadas) que quedan suspendidos en el techo y las paredes de la labor tras la voladura.

El desatado se realiza empleando herramientas manuales de manera preferente, tales como barretillas de 4" y 6" de aluminio, los cuales permiten que el operador realice la tarea desde una posición de seguridad, minimizando la exposición a zonas de riesgo. En sectores de difícil acceso y alturas significativas, se recurre al uso de arnés de forma obligatoria, siempre bajo estrictos protocolos de permiso de trabajo

La ejecución permanente y rigurosa del desatado a lo largo de todo el ciclo de trabajo no es una actividad aislada, sino una medida proactiva fundamental dentro del plan de gestión de riesgos geomecánico de la mina. Su continuidad es crucial debido a que:

- **Control de Riesgo Dinámico:** El macizo rocoso es un medio que evoluciona constantemente. La vibración de operaciones posteriores (nuevas voladuras, tránsito de equipos, perforación) puede inducir el desprendimiento de rocas que inicialmente parecían estables. Un desatado continuo mitiga este riesgo dinámico.
- **Prevención de Accidentes por Caída de Roca:** Constituye la primera y más efectiva línea de defensa contra uno de los riesgos más frecuentes y letales en minería subterránea: la caída de rocas desde el techo. Su ejecución metódica previene accidentes fatales y lesiones graves al personal.
- **Garantía de Condiciones Seguras para Operaciones Subsecuentes:** Solo una labor debidamente desatada puede considerarse segura para que el personal y los equipos realicen las actividades como la perforación, voladura. Saltarse esta etapa pone en riesgo todas las operaciones que le siguen.

#### **c) Verificación y colocación de los elementos metálicos**

- **Fase de Inspección y Rehabilitación Estructural Posterior a Voladura:** Bajo la supervisión de personal calificado, se lleva a cabo una verificación exhaustiva de la integridad estructural de todos los componentes metálicos (plataformas, escaleras, anclajes y soportes). Esta inspección técnica busca identificar posibles daños

ocasionados por las vibraciones, proyección de material o sobrepresión generada durante la voladura. Los elementos que presenten deformaciones, fracturas o corrosión crítica deben ser reparados in situ o reemplazados inmediatamente para garantizar las condiciones de seguridad requeridas.

- **Fase de Reinstalación y Aseguramiento de Componentes:** Una vez certificada la integridad de los componentes existentes o incorporados los nuevos elementos, se procede con la instalación de los anclajes de sostenimiento. Estos anclajes se fijan mecánicamente en las perforaciones previamente ejecutadas en las paredes de la chimenea, asegurando una adherencia óptima con el macizo rocoso. Finalmente, se reubican y nivelan las plataformas de trabajo, las plataformas de seguridad, los descansos y los tramos de escalera, verificando que su alineación y sujeción cumplan con los parámetros de diseño original y los estándares de seguridad minera.

#### **d) Perforación**

La ejecución de una voladura controlada requiere como etapa fundamental la generación de cavidades cilíndricas en el macizo rocoso, proceso técnicamente denominado perforación. Estas cavidades, designadas como taladros, cumplen la función de albergar y confinar el explosivo, garantizando una eficiente transmisión de energía hacia la roca.

#### **e) Voladura**

Para la ejecución de la voladura controlada en chimeneas con configuración en "H", se implementa un sistema integral de iniciación no eléctrica. La secuencia de ignición se inicia de manera estratégica desde el nivel base o desde el subnivel de la chimenea, con el objetivo de optimizar la fragmentación de la roca, controlar las vibraciones inducidas y dirigir adecuadamente el frente de avance.



Previo a la carga de los explosivos, es imperativo ejecutar el desmontaje total de todas las plataformas metálicas temporales ubicados en el interior de la chimenea. Esta acción preventiva busca evitar daños estructurales a los equipos debido a las fuerzas de explosión y proyección de material generadas durante la detonación, además de facilitar el acceso libre para las operaciones de perforación y carga.

#### **f) Limpieza**

Tras la ejecución de una voladura, la fase subsiguiente y crítica consiste en la evacuación del material fragmentado. Esta etapa, denominada limpieza, se realiza con la finalidad de bloquear la ventilación, generar atascos o provocar irregularidades en el desplazamiento del material volado, es fundamental para restablecer el acceso, preparar el terreno para el siguiente ciclo de perforación y garantizar la continuidad operativa.

El proceso es mecanizado. Se emplean cargadores o palas neumáticas (modelo EIMCO 12B) equipadas con una cuchara de 0.16 m<sup>3</sup> de capacidad. Estos equipos se encargan de cargar el material fragmentado en vagonetas mineras (como el modelo U-35), las cuales son posteriormente transportadas hasta la superficie o a puntos de transferencia mediante locomotoras diésel o eléctricas.

#### **g) Sostenimiento**

Según el análisis en la etapa de la caracterización geomecánica, se determinó que la roca es competente y que esta no requiere de un sostenimiento activo ni pasivo.

### **3.7.4. Plataformas y escaleras metálicas (PEM)**

#### **Elementos y componentes del sistema PEM**

El sistema de plataformas y escaleras metálicas incluye dentro de su componente y/o elementos preparados con acero estructural tipo A36 KFI con soldadura, lo siguiente:

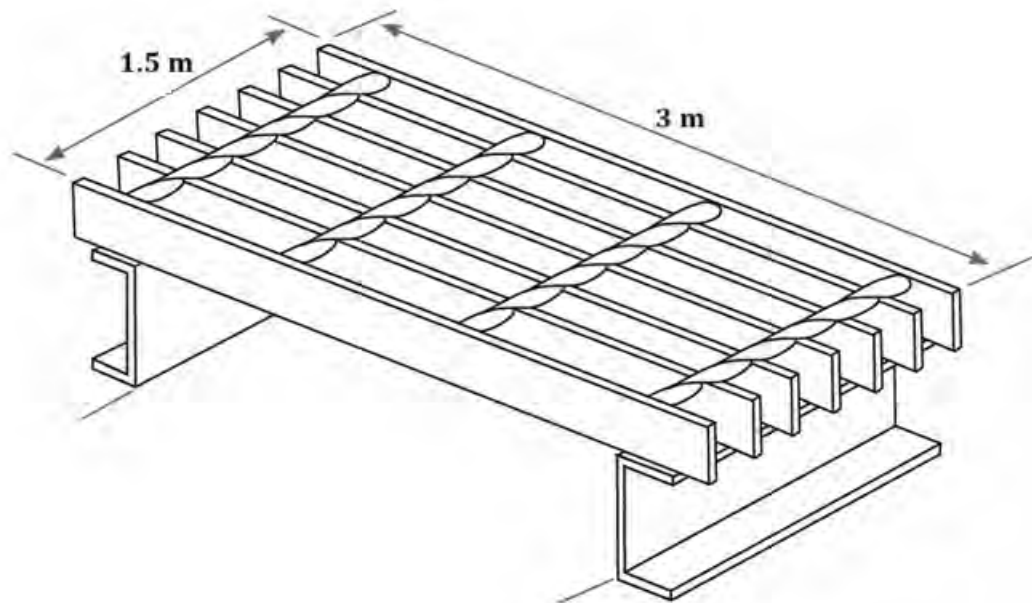
**a. Plataformas de operación y de Seguridad.**

Las plataformas de operación es la superficie principal donde se realizan las labores de perforación, carga, limpieza y sostenimiento durante la construcción de la chimenea. Está fabricada en acero estructural A36 KFI con soldadura, lo que les otorga resistencia y durabilidad frente a las condiciones adversas del interior de mina. Por otra parte, las plataformas de Seguridad, como su nombre lo indica, proporciona seguridad a los trabajadores, debido a que son utilizadas para reducir el espacio entre la primera plataforma, además, funciona como una cubierta protectora para resguardar al personal y los equipos de posibles caídas de fragmentos de roca.

Cada una de estas piezas tiene un peso estimado de unos cien kilogramos. Su diseño deslizable y extensible, en la construcción, facilita el montaje, desmontaje y traslado a lo largo de la chimenea, permitiendo una operación eficiente y segura incluso en espacios reducidos. En la proyección de avanzada de la construcción de las chimeneas con un sistema de plataforma PEM, es muy necesario para emplear plataformas de seguridad, en varios sectores como en la explotación de la roca, como en las actividades de perforación, y en la finalización del carguío y acarreo, estas plataformas se descolgarán para evitar posibles daños a raíz de la voladura.

**Figura 13.**

*Elementos Metálicos-Plataformas Metálicas*



Nota. Fuente: Elaborado por Tovcor Ingenieros S.A. (2025)

**Factor de seguridad de operación del sistema de plataformas corredizas y escaleras metálicas**

**Tabla 3.**

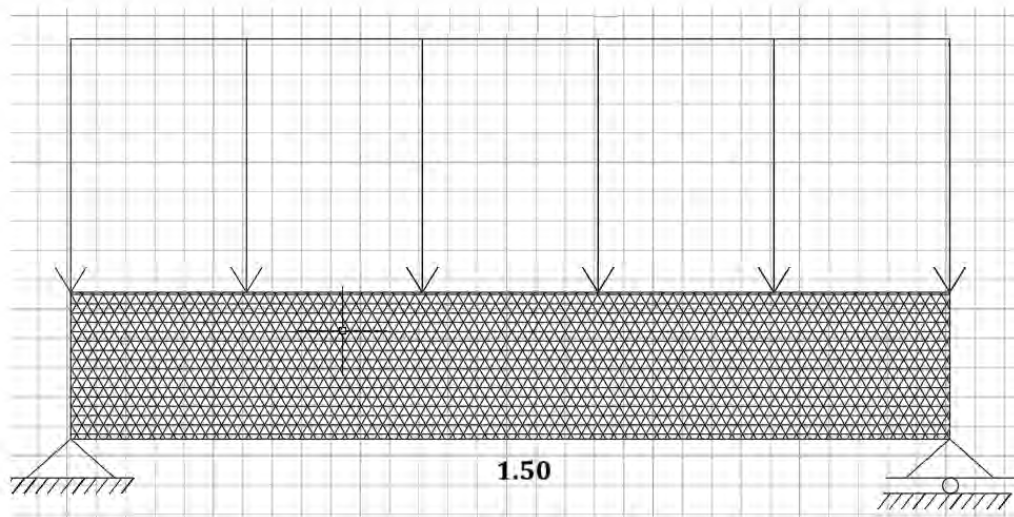
*Cálculo de cargas de operación*

| Descripción                                                           | (Kg) |
|-----------------------------------------------------------------------|------|
| <b>Peso propio PEM</b>                                                | 100  |
| <b>Peso de Equipo de Perforación</b>                                  | 75   |
| <b>Presión de perforación (7.5kg/cm<sup>2</sup>x25cm<sup>2</sup>)</b> | 150  |
| <b>Peso de trabajadores (2 x 100 Kg)</b>                              | 200  |
| <b>Supervisión</b>                                                    | 100  |
| <b>Peso Total</b>                                                     | 625  |

Siendo esta una carga Puntual y a su vez el análisis sea en una plataforma, donde se distribuirá la carga, se tiene:

**Figura 14.**

*Distribución de Carga*



Nota. Fuente: Elaboración Propia, (2025).

Ecuación de Equilibrio:

$$\Sigma F_x = \Sigma F_y$$

$$\Sigma M = 0$$

Carga Muerta  $W_d$ ;

$$W_d = \text{Masa Propia del PEM} \times \text{Gravedad}$$

$$W_d = 100 \times 9.8$$

$$W_d = 0.981 \text{ kN}$$

Carga Viva  $W_l$ ;

$$W_l = (\text{Masa Total} - \text{Masa Propia del PEM}) \times \text{Gravedad}$$

$$W_l = 525 \times 9.8$$

$$W_l = 5.149 \text{ kN}$$

Carga Ultima  $W_u$ ;

$$W_u = W_d + W_l$$

$$W_u = 0.981 \frac{kN}{m} + 5.149 \frac{kN}{m}$$

$$W_u = 6.13 \frac{kN}{m}$$

$$W_t = 6.13 \frac{kN}{m} \times 1.5 m$$

$$W_t = 9.195 kN$$

Calculo de Reacciones en ambos extremos  $R_y$ ;

$$R_y = (W_u * L)/2$$

$$R_y = 9.195/2$$

$$R_{y1} = 4.598$$

$$R_{y2} = 4.598$$



Resumen;

| Soporte en | $R_x$ (kN) | $R_y$ (kN) | $M_x$ (kN-m) |
|------------|------------|------------|--------------|
| 0          | 0          | 4.598      | 0            |
| 1.5        | 0          | 4.598      | 0            |

Momento Flecto máximo es:

\*Fórmula para una viga simplemente apoyada con carga uniforme:

$$M_{max} = \frac{Wu \times l^2}{8}$$

$$M_{max} = \frac{6.13 \times 1.5^2}{8}$$

$$M_{max} = 1.72 \text{ kN}$$

\*El momento máximo se localiza en el centro de la viga, a  $L/2 = 0.75 \text{ m}$  desde cualquiera de los apoyos.

**Tabla 4**

Tabulación de los Momentos Flectores

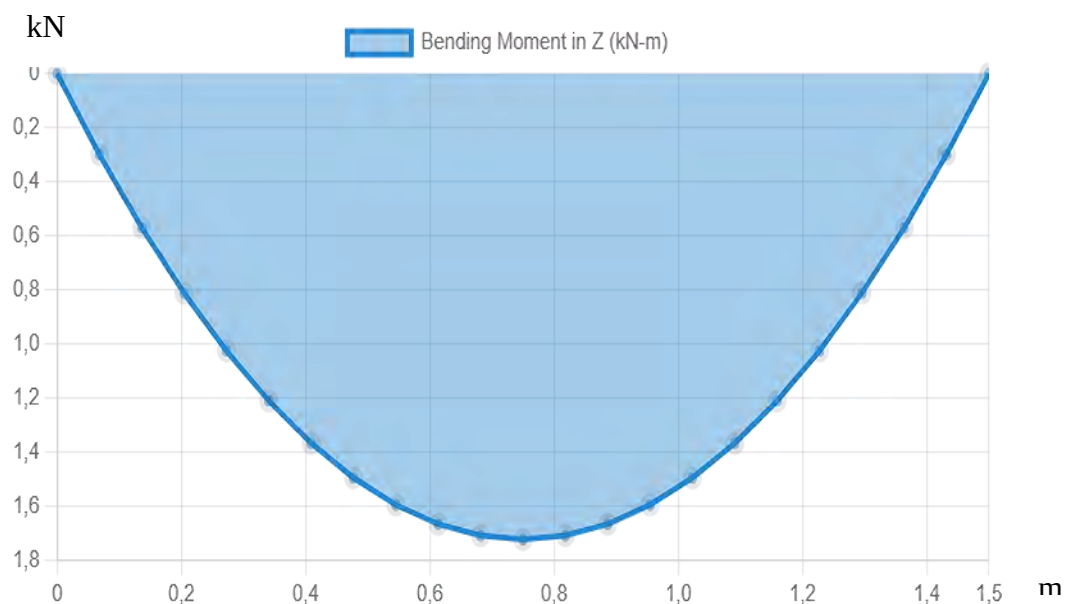
|    |   |     |     |      |      |      |     |     |     |
|----|---|-----|-----|------|------|------|-----|-----|-----|
| kN | 0 | 0.8 | 1.4 | 1.65 | 1.72 | 1.45 | 1.1 | 0.4 | 0   |
| m  | 0 | 0.2 | 0.4 | 0.6  | 0.75 | 1    | 1.2 | 1.4 | 1.5 |

Nota, Fuente elaboracion propia.

\*Graficando el Momento Flector:

**Figura 15.**

*Diagrama de Momento Flector*



Nota: Fuente elaboración Propia. (2025)

\*Si las reacciones son:

$$R_{y1} = 4.598 \text{ kN}$$

$$R_{y2} = 4.598 \text{ kN}$$

\*La Ecuación de la Fuerza cortante es:

Tomando el origen en el apoyo izquierdo y un corte a una distancia  $x$  del mismo, la ecuación de equilibrio da:

$$V(x) = R_{y1} - Wx$$

Esto es válido en todo el tramo  $0 \leq x \leq L$  para una carga uniformemente distribuida.

\*Valores Clave para trazar el diagrama:

En  $x = 0$ ;

$$V(0) = R_{y1}$$

$$V(0) = 4.598 \text{ kN}$$

En el Centro  $x = L/2 = 0.75 \text{ m}$ ;

$$V(0.75) = 4.598 \text{ kN} - 6.13 (0.75)$$

$$V(0.75) = 0 \text{ kN}$$

En  $x = L = 1.5 \text{ m}$ ;

$$V(1.5) = 4.598 \text{ kN} - 6.13 (1.5)$$

$$V(1.5) = -4.598 \text{ kN}$$

| <b>X (M)</b> | <b>V (KN)</b> |
|--------------|---------------|
| <b>0</b>     | 4.598 kN      |
| <b>0.75</b>  | 0 kN          |
| <b>1.5</b>   | -4.598 kN     |

**Tabla 5**

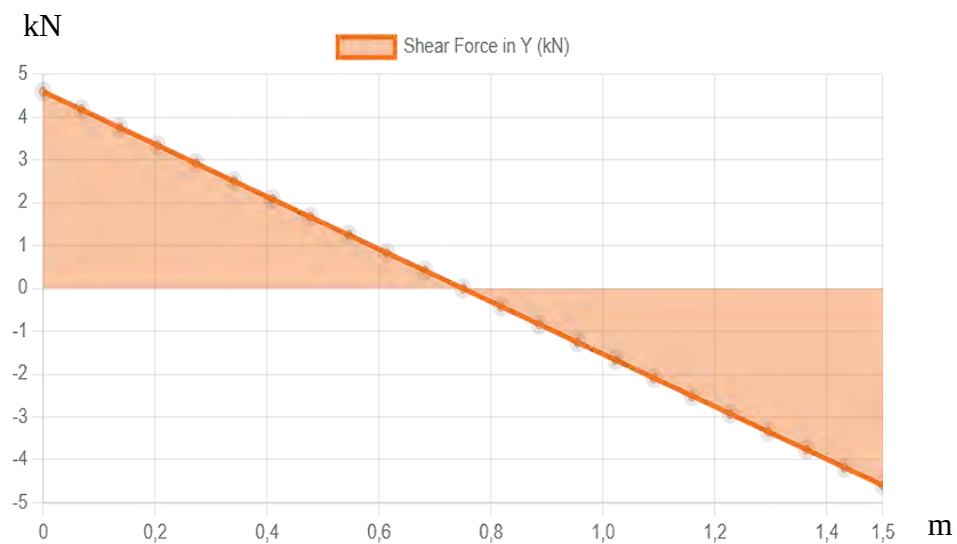
Tabulación de las cortantes.

|           |      |      |     |     |      |       |       |       |       |
|-----------|------|------|-----|-----|------|-------|-------|-------|-------|
| <i>kN</i> | 4.59 | 3.34 | 2.1 | 0.8 | 0    | -1.54 | -2.82 | -4.23 | -4.59 |
| <i>m</i>  | 0    | 0.2  | 0.4 | 0.6 | 0.75 | 1     | 1.2   | 1.4   | 1.5   |

Nota: Fuente Elaboración Propia

**Figura 16.**

*Diagrama de Fuerza Cortante*



Nota: Fuente, Elaboración Propia. (2025)

**Tabla 6**

Tabulación de Deflexión

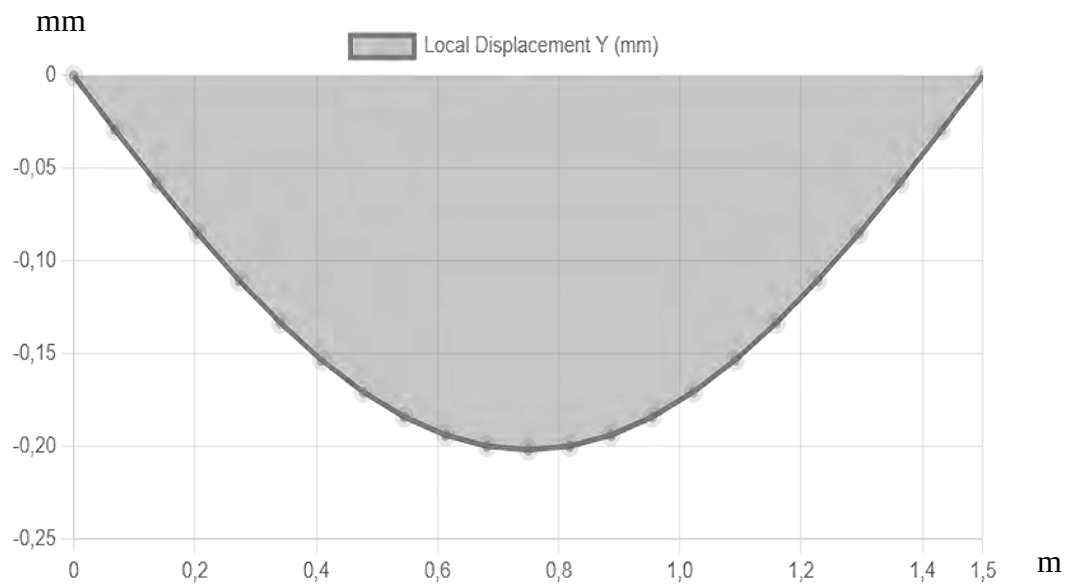
|              |   |       |       |       |        |       |       |       |     |
|--------------|---|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-----|
| <i>X(m)</i>  | 0 | 0.2   | 0.4   | 0.6   | 0.75   | 1     | 1.2   | 1.4   | 1.5 |
| <i>Y(mm)</i> | 0 | -0.09 | -0.16 | -0.18 | -0.202 | -0.18 | -0.12 | -0.04 | 0   |

Nota: Fuente elaboración propia



**Figura 17.**

*Deflexión*



Nota: Fuente, Elaboración Propia. (2025)

| Resultado       | Max        | Min       |
|-----------------|------------|-----------|
| Momento flector | 1.724 kN-m | 0 kN-m    |
| Cortante        | 4.598 kN   | -4.598 kN |
| Desplazamiento  | 0 mm       | -0.202 mm |

$$\therefore \text{Momento flecto corregido} = 180 \text{ kg} - \text{m}$$

$$\text{Factor de Seguridad} = \frac{\sigma}{\sigma_{adm}}$$

Para un Acero Estructural A36,  $F_y$ : 3600 psi ó 250 Mpa

$$\text{Factor de Seguridad} = \frac{\sigma}{\sigma_{adm}}$$

$$\sigma_{adm} = 250 \text{ Mpa}$$

$$\sigma = 400 \text{ Mpa}$$

**Tabla 7.***Resumen de Factores de Seguridad Típico A36*

| Tipo de Esfuerzo  | Fórmula de Esfuerzo Permisible | Factor de Seguridad (F.S.) Aproximado |
|-------------------|--------------------------------|---------------------------------------|
| <b>Tracción</b>   | $0.60 * F_y$                   | 1.67                                  |
| <b>Flexión</b>    | $0.66 * F_y$                   | 1.52                                  |
| <b>Cortante</b>   | $0.40 * F_y$                   | 2.50                                  |
| <b>Compresión</b> | (Depende de la esbeltez)       | ~1.67 a mucho mayor                   |

Nota. Fuente: Ficha Técnica, Aceros estructurales, Órbita Ingeniería S.L., 2023

**Tabla 8.***Coefficientes de Seguridad*

| Aplicaciones                                                                                                                                                                          | Factor de seguridad |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| Materiales de alta fiabilidad donde las condiciones de carga y ambientales no son severas y donde el peso es una consideración importante                                             | 1.3 – 1.5           |
| Materiales fiables cuando las condiciones de carga y ambientales no son severas                                                                                                       | 1.5 – 2             |
| Materiales ordinarios cuando las condiciones de carga y ambientales no son severas                                                                                                    | 2 – 2.5             |
| Materiales frágiles donde la carga y las condiciones ambientales no son severas                                                                                                       | 2.5 – 3             |
| Materiales cuyas propiedades no son fiables y cuyas condiciones de carga y ambientales no son severas, o cuando se utilizan materiales fiables en condiciones difíciles y ambientales | 3 - 4               |

Nota. Fuente: Introducción al factor de seguridad, Órbita Ingeniería S.L., 2023

En resumen, el valor de 1.67 significa y se interpreta que la estructura planteada tiene la capacidad de cargar de manera intrínseca de 67% mayor que la carga máxima que jamás se espera que enfrente en su vida útil.

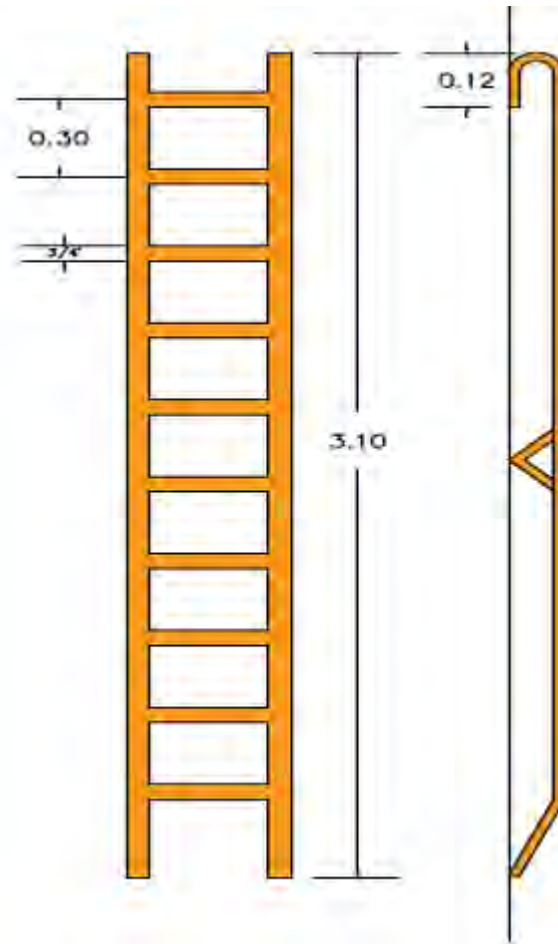
Esta considerable reserva de resistencia asegura que la estructura no solo soportará las cargas de trabajo previstas, sino que también tendrá la robustez necesaria para acomodar imprevistos, cargas eventuales no calculadas con precisión y pequeñas imperfecciones sin sufrir deformaciones permanentes o comprometer su integridad. Por lo tanto, puede confiar en que este diseño no solo cumple con los estándares industriales más exigentes, sino que está preparado para desempeñarse de manera adecuada y duradera.

#### **b. Escaleras metálicas**

La escalera metálica es un componente esencial para el acceso manual entre niveles dentro de la chimenea. Fabricada en acero (corrugado de ¾”) o pintado con pintura epóxica para resistir la corrosión, la escalera se instala de forma fija a lo largo de la pared de la chimenea (adosada a la plataforma principal), estas tienen tres metros de largo, siendo aseguradas con los anclajes centrales. Su diseño antideslizante y la inclusión de descansos cada cierta altura mejoran la seguridad y el confort del personal durante el ascenso y descenso. Además, la escalera puede incorporar puntos de anclaje destinadas a la instalación de líneas de vida y equipos de resguardo ante caídas.

**Figura 18.**

*Elementos Metálicos-Escalera Metálica*



Nota. Fuente: Elaborado por Tovcor Ingenieros S.A. (2025)

**c. Corredizos**

Los corredizos (L 2 ½" x 2 ½" x ¾") en una plataforma metálica PEM, son componentes móviles diseñados para facilitar el desplazamiento y ajuste de la plataforma durante la construcción de chimeneas en minería subterránea. Estos elementos, fabricados generalmente en acero de alta resistencia, permiten que la plataforma se desplace verticalmente a lo largo de la chimenea de manera controlada y segura. Los corredizos funcionan como guías que se deslizan sobre rieles o perfiles anclados a las paredes de la chimenea, asegurando la estabilidad y alineación de la estructura durante el ascenso o descenso.

Además, los corredizos están equipados con sistemas de anclaje metálico que permiten fijar la plataforma en posiciones específicas, brindando seguridad al personal y evitando movimientos no deseados durante las operaciones de perforación, sostenimiento o limpieza. Su diseño robusto les permite soportar las cargas dinámicas y estáticas generadas por el trabajo continuo, así como resistir las condiciones adversas del ambiente subterráneo, como la humedad y la abrasión. Gracias a los corredizos, la plataforma puede posicionarse con precisión en el frente de trabajo, optimizando la eficiencia de las labores y contribuyendo significativamente a la seguridad operativa en la construcción de chimeneas.

**Figura 19.**

*Elementos Metálicos Corredizos*



Nota. Fuente: Elaborado por Tovcor Ingenieros S.A. (2025)

#### **d. Anclajes y ganchos metálicos**

Los anclajes y ganchos (3/4") son componentes fundamentales que complementan el proyecto de construcción de plataformas y estructuras metálicas para acceder a los

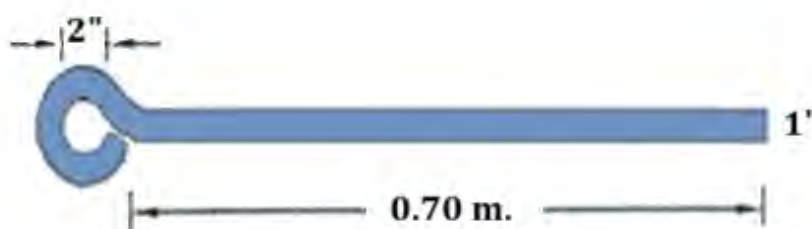
diferentes niveles de las chimeneas subterráneas, garantizando tanto la estabilidad estructural como la seguridad del personal.

### **Anclajes:**

Los anclajes (1"-2") se emplean para fijar firmemente la plataforma y las escaleras a las paredes de la chimenea, asegurando que la estructura permanezca estable durante las operaciones de perforación, sostenimiento y ascenso o descenso del personal. Estos anclajes suelen instalarse en pares y pueden adoptar diversas formas, como anillos, abrazaderas o placas metálicas, que va a depender de los diferentes parámetros geomecánicos y el diseño de la chimenea. Su función principal es ajustar la horizontalidad y mantener la plataforma en posición, evitando desplazamientos no deseados. Además, los anclajes permiten distribuir las cargas de manera uniforme sobre la roca circundante, incrementando la seguridad operativa y minimizando riesgos de desprendimientos o colapsos.

**Figura 20.**

*Elementos Metálicos-Anclajes*



Nota. Fuente: Elaborado por Tovcor Ingenieros S.A. (2025)

### **Ganchos:**

Los ganchos de  $\frac{3}{4}$ " son elementos de unión que facilitan la conexión entre la estructura de la plataforma y el anclaje. Estos ganchos se seleccionan por su

resistencia, facilidad de uso y cumplimiento de normativas de seguridad, garantizando que las maniobras de montaje, desmontaje y traslado de plataformas se realicen de manera eficiente y sin incidentes.

**Figura 21.** *Elementos Metálicos-Ganchos*



Nota. Fuente: Elaborado por Tovcor Ingenieros S.A. (2025)

**e. Primer descanso**

Esta primera plataforma de descanso cumple un rol crucial en la estructura de la chimenea, ya que posibilita observar la zona superior y proporciona el punto adecuado para que el equipo de topografía efectúe sus mediciones y delineaciones.

**f. Anclajes centrales**

Estas estructuras se ubican en el piso o en la base de las chimeneas y cumplen la función esencial de fijar la escalera metálica que se utiliza como vía provisional para el ascenso y descenso del personal durante la construcción de la chimenea. Estos anclajes actúan como puntos de sujeción firmes que garantizan la estabilidad y seguridad de la escalera, evitando desplazamientos o movimientos que puedan poner en riesgo a los trabajadores. Al estar colocado en las estructuras, los anclajes centrales permiten que la escalera se mantenga alineada y bien asegurada, facilitando el acceso continuo y seguro a los diferentes niveles de trabajo dentro de la chimenea.

#### **g. Escalera de acceso**

Estas escaleras son móviles, ya que deben ser retiradas temporalmente antes de realizar voladuras con el propósito de asegurar la integridad del trabajador y prevenir incidentes. Su diseño facilita el montaje y desmontaje rápido, asegurando un acceso seguro durante las labores de avance, adaptándose a las necesidades operativas de cada etapa.

#### **3.7.5. Enmaderado del doble compartimiento**

##### **a) Protección superior**

La protección superior conformada por tablas, estas actúan como salvaguarda ante el riesgo de caída de rocas.

##### **b) Puntales en línea**

Este soporte se posiciona en el centro de la chimenea, y tiene diámetro de 5 pulgadas, equidistado 1.5 m.

##### **c) Primer descanso**

Este punto para que la estructura descansa, se marca en los parámetros iniciales del primer tramo de recorrido de la chimenea, y que se ajusta de acuerdo a las reglas y normas definidas.

##### **d) Ranflas**

Las ranflas son elementos estructurales horizontales o ligeramente inclinados que funcionan como plataformas de trabajo o descansos intermedios dentro de la chimenea. Estas ranflas se instalan para facilitar el acceso y la movilidad del personal durante las labores de perforación, voladura, sostenimiento y limpieza. Además, actúan como puntos de apoyo para la colocación de puntales y otros elementos de sostenimiento temporal, que contribuyen a estabilizar y garantizar la seguridad de los frentes de trabajos.



Las ranflas permiten organizar el avance de la chimenea en tramos manejables, facilitando la evacuación de materiales hacia los subniveles.

#### e) Escaleras

Son estas estructuras, hechas de madera y con una extensión de cuatro metros, se instalan de forma alternada a lo largo del desarrollo completo de la chimenea.

#### f) Enablado

La colocación de enablado se realiza mediante el empleo de tablones de 2" x 8" x 3m.

### 3.7.6. Diseño de malla de perforación y voladura

#### Malla de perforación

Número de taladros

$$Nt = \frac{P}{dt} + C \times S$$

Donde:

P: Perímetro de la sección se obtiene con la formula

$$P = 4 \times S^{0.5}$$

Sección de la chimenea 3 m. x 1.5 m.

S:  $S = a \times b$ ; 4.5 m<sup>2</sup>

$$P = 4 \times (4.5)^{0.5} = 8.485$$

Espaciamiento de los taladros del perímetro que varía de:

| Dureza de Roca | Distancia entre taladros (m) |
|----------------|------------------------------|
| Tenaz          | 0,40 a 0,55                  |
| Intermedia     | 0,60 a 0,65                  |
| Friable        | 0,70 a 0,75                  |

C : Coeficiente o factor de roca:

| <b>Dureza de Roca</b> | <b>Coeficiente de<br/>roca</b> |
|-----------------------|--------------------------------|
| <b>Tenaz</b>          | 2 a 2,5                        |
| <b>Intermedia</b>     | 1,5 a 1,7                      |
| <b>Friable</b>        | 1,0 a 1,2                      |

$$Nt = \frac{8.485}{0.50} + 2.5 \times 4.5$$

$$Nt = 29 \text{ tal.}$$

Considerando los diferentes parámetros de la clasificación de la matriz rocosa que se encuentra presente en los frentes de la chimenea Ch 415 de la Unidad Minera Pomasi-Puno, se tiene la siguiente distribución de taladros compartidos por el área de planteamiento mina.

**Tabla 9.**

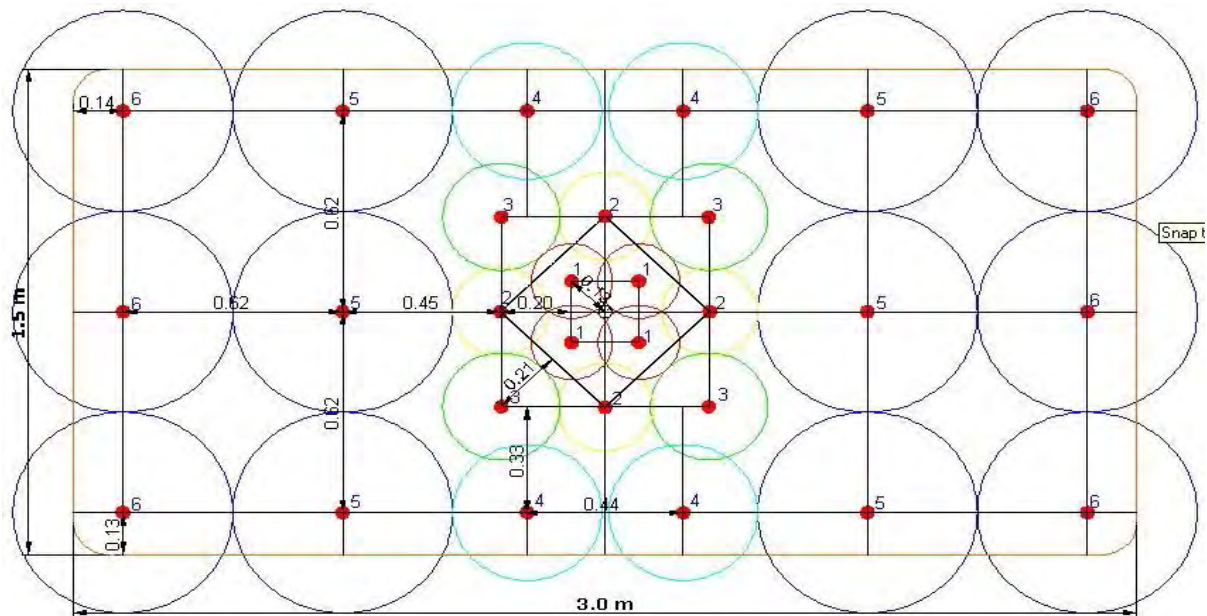
*Distribución de taladros*

| <b>BURDEN</b>    | <b>FS</b> | <b>BURDEN BN<br/>(M)</b> | <b>ESPACIAMIENTO SN (M)</b> |
|------------------|-----------|--------------------------|-----------------------------|
| <b>TAJO</b>      | 1.5       | 0.80                     | 0.80                        |
| <b>TAJEO</b>     | 2         | 0.61                     | 0.61                        |
| <b>CONTORNO</b>  | 3         | 0.45                     | 0.45                        |
| <b>SUB AYUDA</b> | 4         | 0.33                     | 0.33                        |
| <b>AYUDA</b>     | 5         | 0.26                     | 0.26                        |
| <b>ARRANQUE</b>  | 6         | 0.22                     | 0.22                        |

Nota. Fuente: Área de Planeamiento Minas

**Figura 22.**

*Malla de Perforación y voladura*



Nota. Fuente: Área de Planeamiento Minas, (2025).

**Tabla 10.**

*Específicas técnicas*

| TIPO DE ROCA Diorita   |                |
|------------------------|----------------|
| DESCRIPCION            | N° DE TALADROS |
| Da                     | 3.0 m          |
| Db                     | 1.5 m          |
| Longitud de barrenos   | 4 y 6 pies     |
| Eficiencia de Perf.    | 92%            |
| Eficiencia de Voladura | 90%            |

Nota. Fuente: Elaboración propia

## A. Equipos de Perforación y Accesorios

### - Equipos de Perforación

Para la construcción de la chimenea Ch 415, se utilizaron maquinas perforadoras como la Perforadora JACK LEG RNP 250 y Perforadora Stoper SECO S250 con barra de avance

neumático. La Jack Leg fue empleada para aperturar el inicio de la labor y dimensionarla, posteriormente se ejecutó la chimenea con la perforadora Stoper SECO S250.

**Tabla 11.**

*Características generales- Perforadora JACK LEG RNP 250*

| <b>JACK LEG RNP 250</b>        |                 |
|--------------------------------|-----------------|
| <b>PESO</b>                    | 35 Kg.          |
| <b>CONSUMO DE AIRE</b>         | 3.7/5.0 m       |
| <b>GOLPE POR MINUTO</b>        | 2200 Blows/ min |
| <b>DIÁMETRO DE PERFORACIÓN</b> | 32-42 mm        |

Nota. Fuente: Ficha Técnica Jack Leg RNP 250.

**Tabla 12.**

*Mangueras de suministro - Jack Leg RNP 250.*

| <b>SISTEMA MÉTRICO</b> |        |
|------------------------|--------|
| <b>AIRE</b>            | 25 mm. |
| <b>AGUA</b>            | 13 mm. |

Nota. Fuente: Ficha Técnica Jack Leg RNP 250.

**Figura 23.**

*Perforadora Stoper*



Nota. Fuente: Ficha Técnica Jack Leg RNP 250.

**Figura 24.**

*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           |



Nota. Fuente: Ficha Técnica Stoper

**Tabla 13.**

*Mangueras de suministro Stoper.*

| SISTEMA MÉTRICO |        |
|-----------------|--------|
| AIRE            | 25 mm. |
| AGUA            | 12 mm. |

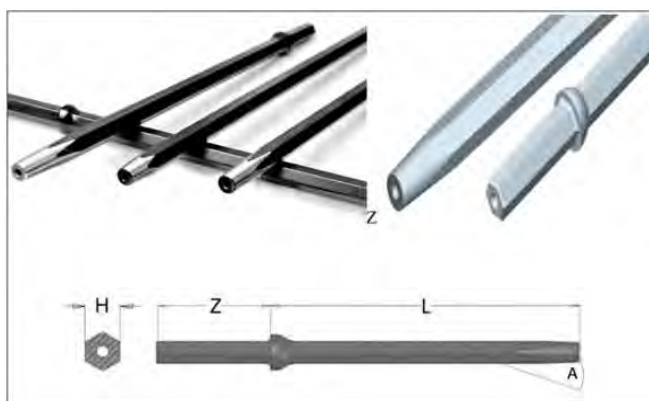
Nota. Fuente: Ficha Técnica Stoper

## - Accesorios

- **Barra de Perforación:** Para las operaciones de perforación en la chimenea 415, se ha seleccionado el uso de barras de sección hexagonal. Esta elección técnica se fundamenta en su superior rigidez torsional y resistencia al pandeo en comparación con diseños de sección redonda, lo que proporciona una transferencia de energía más eficiente y reduce las desviaciones durante la perforación, un factor crítico en excavaciones verticales o sus verticales.

**Figura 25.**

*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      |

Nota. Fuente: Ficha Técnica Jack Leg RNP 250

- **Brocas:** Para las operaciones de perforación en la chimenea 415, se utilizarán brocas de tipo cónico con insertos de carburo de tungsteno (botones). Estos elementos de corte se acoplan mecánicamente a los barrenos mediante un sistema de sujeción por presión, garantizando una transmisión eficiente de la energía de perforación.

**Figura 26.**

*Broca Shenli de 36 y 38 mm*

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

Nota. Fuente: Ficha Técnica Jack Leg RNP 250, (2025).

## B. Voladura

### - Emulnor

Se trata de un agente explosivo de tipo emulsión, encapsulado en un cartucho de material polimérico, que presenta propiedades técnicas superiores en cuanto a estabilidad, energía liberada, impermeabilidad y eficiencia en la producción de gases durante la detonación.

**Tabla 14.**

*Tipo 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 |

Nota. Fuente: Famesa Explosivos (2019)

**Tabla 15.***Tipo de Emulnor y Usos*

|                          |       |       |
|--------------------------|-------|-------|
| Nº de taladros cargados: | 28.00 | Tal.  |
| Longitud de taladro:     | 1.12  | m.    |
| Longitud de carga:       | 0.72  | m     |
| Avance/disparo:          | 1.01  | m.    |
| Volumen roto             | 4.54  | m3    |
| TM rotos                 | 11.81 | TM    |
| Peso de explosivo/cart   | 0.120 | Kg    |
| Total, de explosivo      | 17.52 | Kg    |
| Factor de potencia       | 1.48  | Kg/TM |
| Factor de carga          | 3.86  | Kg/m3 |

Nota. Fuente: Elaboración propia del autor.

**Tabla 16.***Datos generales para el factor de carga con un barreno de 6 pies*

|                          |       |       |
|--------------------------|-------|-------|
| Nº de taladros cargados: | 28.00 | Tal.  |
| Longitud de taladro:     | 1.68  | m.    |
| Longitud de carga:       | 0.72  | m     |
| Avance/disparo:          | 1.51  | m.    |
| Volumen roto             | 6.81  | m3    |
| TM rotos                 | 17.72 | TM    |
| Peso de explosivo/cart   | 0.120 | Kg    |
| Total, de explosivo      | 25.24 | Kg    |
| Factor de potencia       | 1.42  | Kg/TM |
| Factor de carga          | 3.70  | Kg/m3 |

Fuente: Elaboración propia del autor.



### **C. Sostenimiento**

El sostenimiento en minería subterránea constituye un componente estructural fundamental en el aseguramiento de la estabilización a mediano y a largo plazo de la construcción de la chimenea. Su propósito esencial radica en controlar las deformaciones del macizo rocoso y mitigar el riesgo de colapso, garantizando así las mejores condiciones para las operaciones seguras y la preservación de la infraestructura minera.

El dimensionamiento de los sistemas de soporte se deriva de un análisis integral de las propiedades geotécnicas del macizo, que comprende: los ensayos de resistencia en la matriz rocosa, la orientación e intensidad de las discontinuidades estructurales, las condiciones hidrogeológicas del sector y el régimen de esfuerzos in situ. Este diseño debe integrarse congruentemente con el método de explotación empleado y los objetivos operativos del proyecto.

Conforme a la caracterización geomecánica del sector donde se desarrolló la chimenea, el macizo rocoso presenta una clasificación de calidad BUENA (Clase II) según el índice RMR/Bieniawski, lo que implica comportamientos esperados de estabilidad y requerimientos específicos de soporte.

**Tabla 17.**

*Sostenimiento Según el Tipo de Roca.*

| TIPO DE ROCA     | CLASE       |  | RMR    | CARACTERÍSTICAS DE LA ROCA                             | TIPO DE SOSTENIMIENTO                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|------------------|-------------|--|--------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>MUY BUENA</b> | <b>I</b>    |  | 100-81 | 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.                                                                                  |
| <b>BUENA</b>     | <b>II</b>   |  | 80-61  | Roca dura, poco fisurada.                              | Por lo general, no será necesario aplicar ningún tipo de sostenimiento, pero se pueden utilizar pernos esporádicos Split Set.                                                                                                                                                              |
| <b>REGULAR</b>   | <b>III</b>  |  | 60-41  | 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.       |
| <b>MALA</b>      | <b>IV-A</b> |  | 40-26  | 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. |
| <b>MUY MALA</b>  | <b>IV-B</b> |  | 25-0   | 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.                               |

Nota. Fuente: Clasificación geomecánica. (Bieniawski, 1973)

Por lo que se determinó que no requiere aplicar sostenimiento, salvo en casos donde si se utilizara pernos Split Set de 1,5 m.

## D. Ventilación

### 4.13. Requerimiento total de aire ( $q_{to}$ )

De acuerdo con lo estipulado en el marco normativo vigente D.S. N° 024-2016-EM, el diseño debe considerar la aplicación de la siguiente expresión matemática:

$$Q_{TO} = Q_{T1} + Q_{Fu}$$

Donde:

$Q_{TO}$  : Caudal total requerido.

$Q_{T1}$  : Suma de caudales calculados.

$Q_{Fu}$  : 15% del  $Q_{T1}$ .

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

$$Q_{Tr} = Q_{std} \times \frac{P_{nivel\ del\ mar}}{P_{altitud}}$$

Donde:

|                                         |                                                            |
|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| <b><math>Q_{ALTITUD}</math></b>         | <b>: CAUDAL CORREGIDO POR ALTITUD (M<sup>3</sup>/MIN).</b> |
| <b><math>Q_{STD}</math></b>             | : Caudal estándar a nivel del mar (4 m <sup>3</sup> /min). |
| <b><math>P_{NIVEL\ DEL\ MAR}</math></b> | : Presión atmosférica a nivel del mar (760 mmHg).          |
| <b><math>P_{ALTITUD}</math></b>         | : Presión atmosférica a la altitud de la mina (mmHg).      |

## PRESIÓN ATMOSFÉRICA A:

$$P_{altura} = 760 \times \left(1 - \frac{altitud}{44300}\right)^{5.256}$$

$$P_{4,893} = 760 \times \left(1 - \frac{4,893}{44300}\right)^{5.256}$$

$$P_{4,893} = 410.82\ mmHg.$$

Cálculo del Facto de corrección:

$$Factor = \frac{760}{410.82} = 1.85$$

$$P_{4,893} = 4 \text{ m}^3/\text{min} \times 1.85$$

$$P_{4,893} = 7.40 \text{ m}^3/\text{min}$$

Según la altitud de las operaciones mineras (4,893 m.s.n.m), el caudal mínimo de aire por trabajador será de 7.40 m<sup>3</sup>/min

**Tabla 18.**

*Número de Trabajadores por Guardia*

| NUMERO DE EMPLEADOS         |         |   |
|-----------------------------|---------|---|
| LABORES                     | GUARDIA |   |
|                             | A       | B |
| CHIMENEA 416 (CONVENCIONAL) | 3       | 3 |
| CHIMENEA 415 (PEM)          | 2       | 2 |

Nota. Fuente: Área de operaciones U.M. Pomasi.

Para el dimensionamiento del sistema de ventilación, el criterio de diseño se basa en la condición con mayor número de trabajadores. En el presente análisis, la **Guardia A** registra una dotación de trabajadores significativamente superior a la de la Guardia B, por lo cual todos los cálculos de caudal de aire se realizarán utilizando sus datos poblacionales como referencia base.

| <i>Trabajadores por guardia</i> | <i>Factor (7.40 m<sup>3</sup>/min)</i> | <i>m<sup>3</sup>/min</i> |
|---------------------------------|----------------------------------------|--------------------------|
| 6                               | 7.40 m <sup>3</sup> /min               | 44.4                     |

$$Q_{Tr} = N \text{ trabajadores} \times 7.40 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$Q_{Tr} = 44.4 \text{ m}^3/\text{min}$$

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

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

Donde:

T : producción por guardia expresado en toneladas.

u : factor de producción según el reglamento.

**Tabla 19.**

*Factor por Consumo de Madera.*

| <i>Consumo de madera (%)</i> | <i>Factor de producción (m<sup>3</sup>/min )</i> |
|------------------------------|--------------------------------------------------|
| <i>&lt; 20</i>               | 0.00                                             |
| <i>20 a 40</i>               | 0.60                                             |
| <i>41 a 70</i>               | 1.00                                             |
| <i>&gt; 70</i>               | 1.25                                             |

Nota. Fuente: Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, (Ministerio de Energía y Minas, 2017)

| <i>Constante</i> | <i>Factor de Conversión</i> | <i>Densidad madera (kg/m<sup>3</sup>)</i><br><i>*Eucalipto</i> |
|------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------------------|
| 3.14             | 0.0254                      | 700                                                            |

**Tabla 20.**

*Consumo de Madera*

| <b>CONSUMO DE MADERA EN CHIMENEA</b>  |                   |                    |              |                   |           |
|---------------------------------------|-------------------|--------------------|--------------|-------------------|-----------|
|                                       | Cant.<br>Puntales | Diámetro<br>(pulg) | Longitud (m) | Diámetro<br>(m)   | Peso (kg) |
| <b>PUNTALES</b>                       | 8                 | 8                  | 3            | 0.2032            | 389.2     |
|                                       | Cant.<br>Tablas   | Ancho (pulg)       | Longitud (m) | Espesor<br>(pulg) | Peso (kg) |
| <b>TABLAS</b><br><b>2" X 8" X 3 M</b> | 12                | 8                  | 3            | 2                 | 260.4     |
| <b>TOTAL</b>                          |                   |                    |              |                   | 649.6     |

Nota. Fuente: Elaboración propia del autor.

**Tabla 21.**

*Consumo de madera en la zona de Cahuapaza*

| <i>Zona</i>                      | <i>Tipo</i>                             | <i>Nº de Labores</i>       | <i>Consumo (Kg)</i> | <i>Consumo TM</i>     |
|----------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------|---------------------|-----------------------|
| <i>Cahuapaza</i>                 | Chimenea                                | 2                          | 1299.2              | 1.29                  |
|                                  | Galería                                 | 6                          | 8680.0              | 8.68                  |
|                                  | <i>Total</i>                            |                            |                     | 9.97                  |
| <i>Producción</i><br><i>(TM)</i> | <i>Consumo de madera</i><br><i>(TM)</i> | <i>Consumo</i><br><i>%</i> | <i>Factor</i>       | <i>Q<sub>MA</sub></i> |
| 50                               | 9.97                                    | ≈20                        | 0.6                 | 30                    |

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

$$Q_{Ma} = 30 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{min}} \right)$$

### ***Caudal requerido por temperatura ( $Q_{Te}$ )***

Donde:

**$Q_{Te}$**  : Caudal corregido por temperatura ( $\text{m}^3/\text{min}$ ).

**$V_m$**  : Velocidad Mínima.

**A** : Sección de la labora.

**N** : Cantidad de niveles con temperatura mayores a 23 grados.

### **Tabla 22**

Velocidad Mínima Según la Temperatura

| <i>Temperatura (C°)</i> | <i>Vm (m/min)</i> |
|-------------------------|-------------------|
| < 24                    | 0.00              |
| 24 a 29                 | 30.00             |

Nota. Extraído de (Ministerio de Energia y Minas, 2017)

Dado que en Cahuapaza la temperatura habitual ronda los 22 °C, no es necesario considerar un caudal asociado a la temperatura, resultando este igual a cero ( $Q_{Te} = 0$ ).

### ***Caudal requerido por equipo petrolero ( $Q_{Eq}$ )***

$$Q_{Eq} = 3 \times HP \times Dm \times Fu \left( \frac{\text{m}^3}{\text{min}} \right)$$

Donde:

**HP** : Potencia efectiva HP

**Dm** : Disponibilidad mecánica (%)

**Fu** : Factor de utilización (%)

La Unidad Minera Pomasi cuenta con equipos diésel (Locomotora Diesel) con disponibilidad mecánica 72% y factor de utilización 60%.

| EQUIPO            | HP  | CANTIDAD | TOTAL, HP |
|-------------------|-----|----------|-----------|
| LOCOMOTORA DIESEL | 350 | 01       | 350       |

Fuente: Elaboración Propia del autor.

$$QEq = 3 \times 350 \times 0.72 \times 0.60 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{min}} \right)$$

$$QEq = 453.6 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{min}} \right)$$

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

$$QFu = 15\% \times QT1 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{min}} \right)$$

Donde:

$$QT1 = QTr + 0 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} + 30 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} + 453.6 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$$

**Tabla 23.**

*Consumo de madera en la zona de Cahuapaza*

| Consumo de Aire                                | m3/min | CFM       |
|------------------------------------------------|--------|-----------|
| Trabajadores (QTr)                             | 44.4   | 1,567.764 |
| Consumo de madera (QMa)                        | 30     | 1,059.44  |
| Temperatura (QTe)                              | 0      | 0         |
| Equipos Diesel (QEq)                           | 453.6  | 16,018.75 |
| Caudal requerido Q1 = QTr<br>+ QMa + QTe + QEq | 528    | 16,552.8  |
| Caudal requerido por fugas<br>Qfu = 15%QT1     | 79.2   | 2,482.92  |

Fuente: Elaboración Propia



## **E. Eficiencia de Avance**

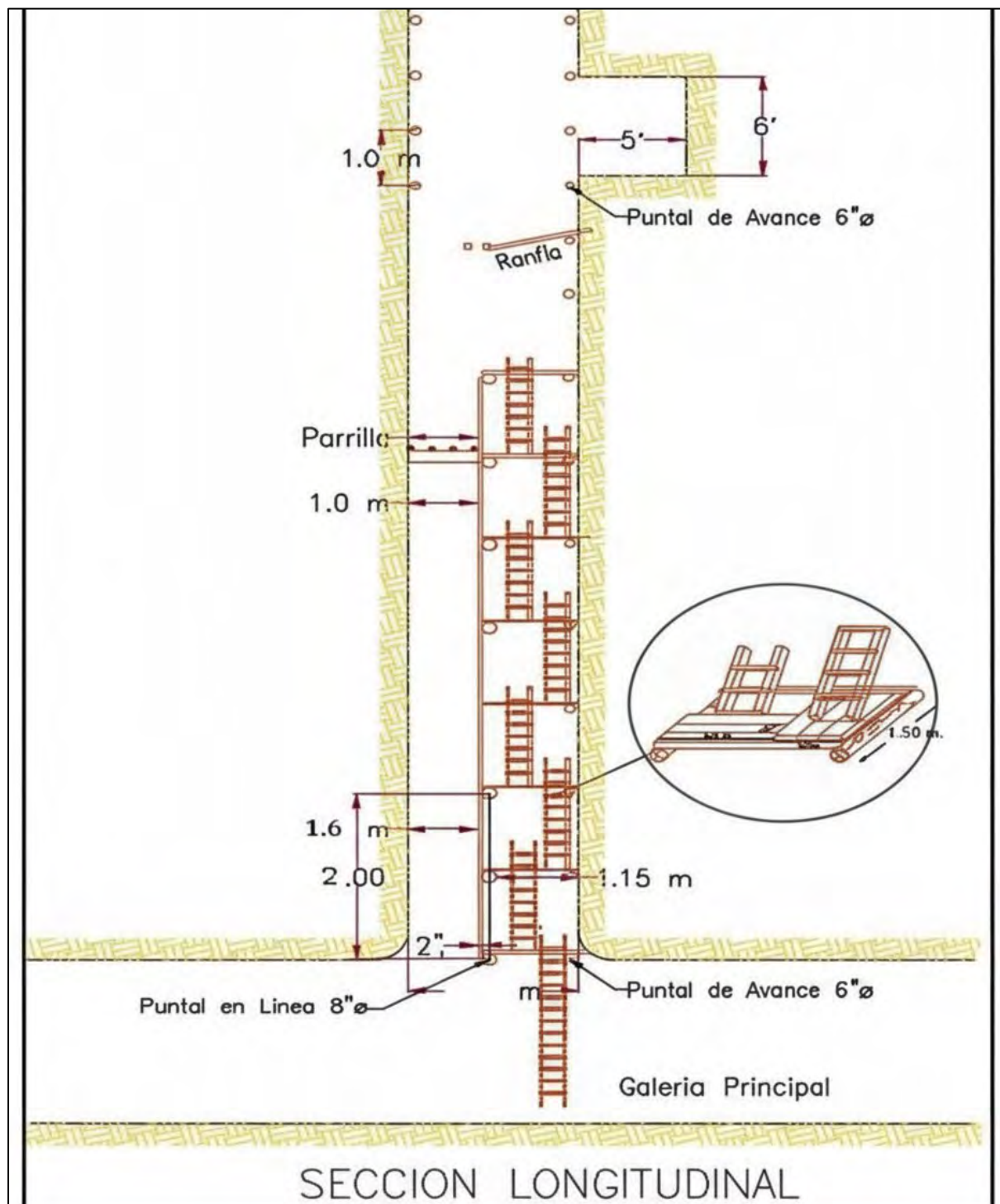
### **Avance operativo por disparo**

#### **o Método Convencional**

El proceso de construcción tradicional de la chimenea requiere colocar puntales cada metro, por lo que desde el ultimo puntal hasta el frente de la chimenea se tiene un máximo de 1 m. de altura, por tal motivo, se utilizaba un barreno de 4 pies. Además, los puntales de madera (de 5 pulgadas de diámetro mínimo) se instalan a intervalos de 1 metro de altura, formando plataformas temporales para perforación ascendente. Barrenos más largos como los de 6 pies (1.83 m) comprometen la maniobrabilidad y aumentan el riesgo de desprendimientos o inestabilidad, ya que el espacio libre entre puntales es limitado (alrededor de 1-1.28 m) y la madera soporta menos flexión dinámica durante la perforación.

**Figura 27.**

*Chimenea convencional*



Nota. Fuente: Elaboración propia, (2023).

- o Método manual con el sistema PEM.

Por otra parte, con el Sistema PEM, las plataformas van cada 1.50 m. al frente de la chimenea, tal como se aprecia en la figura 29, teniendo después del disparo, un aproximado de 3 m, de altura, permitiendo utilizar barrenos de 6 pies.

**Sección** : 3 m x 1.5m.

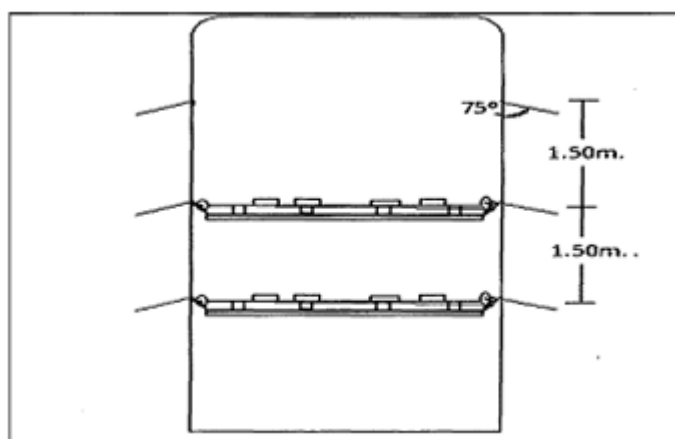
**N° de taladros** : 29 Tal.

**Longitud de barreno** : 4 pies

**Avance/disparo** : 1.01 m.

**Figura 28.**

*Distancia de plataforma a frente de chimenea.*



Nota. Fuente: elaboración propia, (2025)

**Sección** : 3 m. x 1.5 m.

**N° de taladros** : 29 Tal.

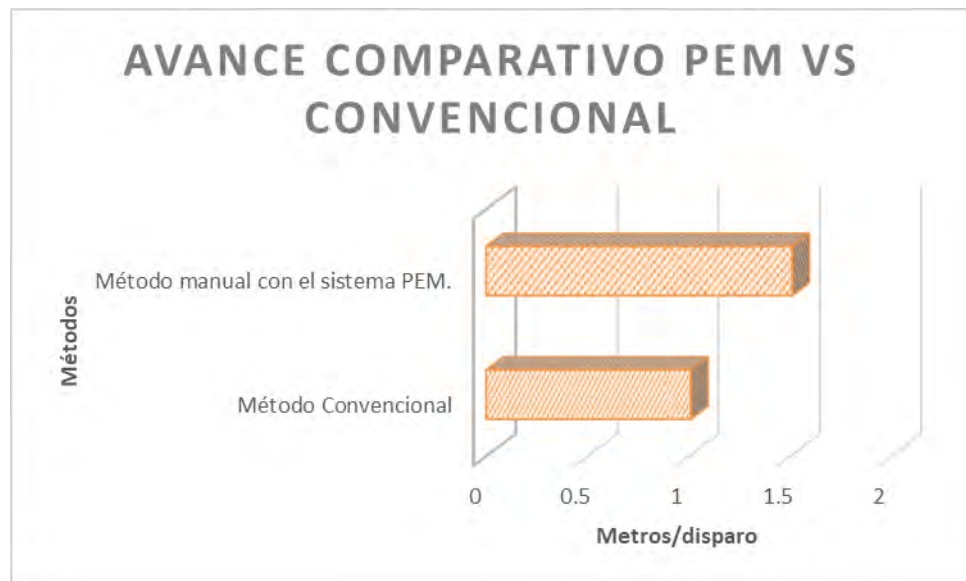
**Longitud de barreno** : 6 pies

**Avance/disparo** : 1.51 m.

La eficiencia de avance en función a estos dos métodos se aprecia en la siguiente figura 30.

**Figura 29.**

*Avance comparativo PEM*



Nota. Fuente: Elaboración Propia, (2025).

### ***Secuencia operativa diaria***

La tabla 24, se detalla la secuencia operativa diaria de lo que sería la construcción de la Chimenea Ch 416 utilizando los métodos convencionales de enmaderado después de los 10 metros de avance.

**Tabla 24.**

*Secuencia operativa diaria*

| Chimenea Ch 416                                                |                |                |                       |
|----------------------------------------------------------------|----------------|----------------|-----------------------|
| ACTIVIDAD                                                      | Hora inicio    | Hora final     | Tiempo empleado (Hr.) |
| Espera de camión para ingreso a interior mina                  | 07:00:00 a. m. | 07:20:00 a. m. | 0.33                  |
| Traslado de superficie a interior mina                         | 07:20:00 a. m. | 07:32:00 a. m. | 0.20                  |
| Charla de seguridad                                            | 07:32:00 a. m. | 07:47:00 a. m. | 0.25                  |
| Reparto de guardia                                             | 07:47:00 a. m. | 08:00:00 a. m. | 0.22                  |
| Traslado al subnivel                                           | 08:00:00 a. m. | 08:20:00 a. m. | 0.33                  |
| Check list                                                     | 08:20:00 a. m. | 08:30:00 a. m. | 0.17                  |
| Traslado a labor de perforacion                                | 08:30:00 a. m. | 08:40:00 a. m. | 0.17                  |
| Mantenimiento preventivo                                       | 08:40:00 a. m. | 08:50:00 a. m. | 0.17                  |
| Espera de habilitación de frente (servicios)                   | 08:50:00 a. m. | 09:10:00 a. m. | 0.33                  |
| Desatado de rocas                                              | 09:10:00 a. m. | 09:40:00 a. m. | 0.50                  |
| Acarreo de materiales (madera)                                 | 09:40:00 a. m. | 10:40:00 a. m. | 1.00                  |
| Empieza preparado de patillas y preparado de puntales y tablas | 10:40:00 a. m. | 12:00:00 p. m. | 1.33                  |
| Almuerzo                                                       | 12:00:00 p. m. | 01:00:00 p. m. | 1.00                  |
| Traslado a labor de perforacion                                | 01:00:00 p. m. | 01:20:00 p. m. | 0.33                  |
| Instalación de equipo                                          | 01:20:00 p. m. | 01:40:00 p. m. | 0.33                  |
| Inicio de perforación                                          | 01:40:00 p. m. | 04:15:00 p. m. | 2.58                  |
| Desinstalación equipo                                          | 04:15:00 p. m. | 04:40:00 p. m. | 0.42                  |
| Inicio de carguio                                              | 04:40:00 p. m. | 06:30:00 p. m. | 1.83                  |
| Traslado de equipos, materiales                                | 06:30:00 p. m. | 06:40:00 p. m. | 0.17                  |
| Chispeo                                                        | 06:40:00 p. m. | 06:50:00 p. m. | 0.17                  |
| Traslado de personal a superficie                              | 06:50:00 p. m. | 07:12:00 p. m. | 0.37                  |
| Total de horas                                                 |                |                | 12.20                 |

Fuente. Nota: Elaboración Propia.

Y por otra parte la tabla 25, señala los pasos operativos de la Chimenea Ch 415 construido con el sistema PEM.

**Tabla 25.***Pasos operativos de la Chimenea Ch 415*

| Chimenea Ch 415                               |                |                |                       |
|-----------------------------------------------|----------------|----------------|-----------------------|
| ACTIVIDAD                                     | Hora inicio    | Hora final     | Tiempo empleado (Hr.) |
| Espera de camión para ingreso a interior mina | 07:00:00 a. m. | 07:20:00 a. m. | 0.33                  |
| Traslado de superficie a interior mina        | 07:20:00 a. m. | 07:32:00 a. m. | 0.20                  |
| Charla de seguridad                           | 07:32:00 a. m. | 07:47:00 a. m. | 0.25                  |
| Reparto de guardia                            | 07:47:00 a. m. | 08:00:00 a. m. | 0.22                  |
| Traslado al Subnivel                          | 08:00:00 a. m. | 08:20:00 a. m. | 0.33                  |
| Check list                                    | 08:20:00 a. m. | 08:30:00 a. m. | 0.17                  |
| Traslado a labor de perforacion               | 08:30:00 a. m. | 08:40:00 a. m. | 0.17                  |
| Mantenimiento preventivo                      | 08:40:00 a. m. | 08:50:00 a. m. | 0.17                  |
| Espera de habilitación de frente (servicios)  | 08:50:00 a. m. | 09:10:00 a. m. | 0.33                  |
| Desatado de rocas                             | 09:10:00 a. m. | 09:40:00 a. m. | 0.50                  |
| Traslado o izaje de Sistema PEM               | 09:40:00 a. m. | 10:00:00 a. m. | 0.33                  |
| Se realiza instalacion del Sistema PEM        | 10:00:00 a. m. | 11:40:00 a. m. | 1.67                  |
| Instalación de equipo                         | 11:40:00 a. m. | 12:00:00 p. m. | 0.33                  |
| Almuerzo                                      | 12:00:00 p. m. | 01:00:00 p. m. | 1.00                  |
| Traslado a labor de perforacion               | 01:00:00 p. m. | 01:20:00 p. m. | 0.33                  |
| Inicio de perforación                         | 01:20:00 p. m. | 03:26:00 p. m. | 2.10                  |
| Desinstalación equipo                         | 03:26:00 p. m. | 03:50:00 p. m. | 0.40                  |
| Inicio de carguio                             | 03:50:00 p. m. | 05:30:00 p. m. | 1.67                  |
| Traslado de equipos, materiales               | 05:30:00 p. m. | 05:40:00 p. m. | 0.17                  |
| Chispe                                        | 05:40:00 p. m. | 05:50:00 p. m. | 0.17                  |
| Traslado de personal a superficie             | 05:50:00 p. m. | 07:00:00 p. m. | 1.17                  |
| Total de horas                                |                |                | 12.00                 |

Nota. Fuente: Elaboración propia

Ambos análisis se realizaron en un periodo de una guardia (promedio de 12 horas) y en condiciones similares, ya que ambas se encuentran en entre los mismos niveles (son chimeneas gemelas).

***Secuencia operativa mensual***

La metodología constructiva para la chimenea convencional sigue una secuencia operacional definida por la longitud a alcanzada. En la fase inicial, correspondiente a los primeros diez metros, se implementa un ciclo minero consistente en perforación, voladura y el sostenimiento inmediato con puntales de línea. Una vez alcanzada esta profundidad, aproximadamente al sexto día, se procede con el entibado estructural del buzón y el acondicionamiento de la vía de acceso.

Al superar la cota de 15 metros, el ciclo operativo se modifica para optimizar los recursos y la seguridad. La actividad se organiza en turnos especializados: una guardia se dedica exclusivamente a la instalación del sostenimiento con puntales de línea, mientras que la guardia siguiente ejecuta las labores de explotación para el nuevo avance. Este esquema secuencial y especializado por turnos se mantiene de forma continua hasta la culminación total del proyecto.

Según se detalla en el Cuadro 19, que describe la programación mensual de actividades para el sistema convencional, la ejecución completa de la chimenea se logró en un plazo de 40 días.

**Tabla 26.**

*Secuencia operacional mensual en una chimenea convencional.*

| DÍA | TURNO | ACTIVIDAD | AVANCE | DÍA | TURNO | ACTIVIDAD | AVANCE | DÍA | TURNO | ACTIVIDAD | AVANCE | DÍA | TURNO | ACTIVIDAD | AVANCE |
|-----|-------|-----------|--------|-----|-------|-----------|--------|-----|-------|-----------|--------|-----|-------|-----------|--------|
| 1   | D     | PV        | 1.1    | 11  | D     | MADE      |        | 21  | D     | MADE      |        | 31  | D     | MADE      |        |
|     | N     | PV        | 1.1    |     | N     | PV        | 1.1    |     | N     | PV        | 1.1    |     | N     | PV        | 1.1    |
| 2   | D     | PV        | 1.1    | 12  | D     | MADE      |        | 22  | D     | MADE      |        | 32  | D     | MADE      |        |
|     | N     | PV        | 1.1    |     | N     | PV        | 1.1    |     | N     | PV        | 1.1    |     | N     | PV        | 1.1    |
| 3   | D     | PV        | 1.1    | 13  | D     | MADE      |        | 23  | D     | MADE      |        | 33  | D     | MADE      |        |
|     | N     | PV        | 1.1    |     | N     | PV        | 1.1    |     | N     | PV        | 1.1    |     | N     | PV        | 1.1    |
| 4   | D     | PV        | 1.1    | 14  | D     | MADE      |        | 24  | D     | MADE      |        | 34  | D     | MADE      |        |
|     | N     | PV        | 1.1    |     | N     | PV        | 1.1    |     | N     | PV        | 1.1    |     | N     | PV        | 1.1    |
| 5   | D     | PV        | 1.1    | 15  | D     | MADE      |        | 25  | D     | MADE      |        | 35  | D     | MADE      |        |
|     | N     | PV        | 1.1    |     | N     | PV        | 1.1    |     | N     | PV        | 1.1    |     | N     | PV        | 1.1    |
| 6   | D     | MADE      |        | 16  | D     | MADE      |        | 26  | D     | MADE      |        | 36  | D     | MADE      |        |
|     | N     | MADE      |        |     | N     | PV        | 1.1    |     | N     | PV        | 1.1    |     | N     | PV        | 1.1    |
| 7   | D     | PV        | 1.1    | 17  | D     | MADE      |        | 27  | D     | MADE      |        | 37  | D     | MADE      |        |
|     | N     | PV        | 1.1    |     | N     | PV        | 1.1    |     | N     | PV        | 1.1    |     | N     | PV        | 1.1    |
| 8   | D     | PV        | 1.1    | 18  | D     | MADE      |        | 28  | D     | MADE      |        | 38  | D     | MADE      |        |
|     | N     | PV        | 1.1    |     | N     | PV        | 1.1    |     | N     | PV        | 1.1    |     | N     | PV        | 1.1    |
| 9   | D     | MADE      |        | 19  | D     | MADE      |        | 29  | D     | MADE      |        | 39  | D     | MADE      |        |
|     | N     | PV        | 1.1    |     | N     | PV        | 1.1    |     | N     | PV        | 1.1    |     | N     | PV        | 1.1    |
| 10  | D     | MADE      |        | 20  | D     | MADE      |        | 30  | D     | MADE      |        | 40  | D     | MADE      |        |
|     | N     | PV        | 1.1    |     | N     | PV        | 1.1    |     | N     | PV        | 1.1    |     | N     | PV        | 0.5    |

Nota. Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la secuencia operativa mensual de la chimenea Ch 415, utilizando el sistema PEM, los cálculos obtenidos se muestra en el cuadro 22, donde, La secuencia operativa inicia con la perforación y disparo para avanzar un primer tramo de 8 metros. Una vez completado este avance, el personal procede con las actividades de acondicionamiento del camino y

entibado del buzón. Este ciclo se repite de manera sucesiva y sistemática hasta alcanzar la meta establecida para el proyecto.

**Tabla 27.**

*Secuencia operacional mensual con plataformas y escaleras metálicas.*

| DÍA | TURNO | ACTIVIDAD | AVANCE | DÍA | TURNO | ACTIVIDAD | AVANCE | DÍA | TURNO | ACTIVIDAD | AVANCE |
|-----|-------|-----------|--------|-----|-------|-----------|--------|-----|-------|-----------|--------|
| 1   | D     | PV        | 1.5    | 11  | D     | PV        | 1.5    | 21  | D     | PV        | 1.5    |
|     | N     | PV        | 1.5    |     | N     | PV        | 1.5    |     | N     | PV        | 1.5    |
| 2   | D     | PV        | 1.5    | 12  | D     | PV        | 1.5    | 22  | D     | PV        | 1.5    |
|     | N     | PV        | 1.5    |     | N     | PV        | 1.5    |     | N     | PV        | 1.5    |
| 3   | D     | PV        | 1.5    | 13  | D     | PV        | 1.5    | 23  | D     | PV        | 1.5    |
|     | N     | PV        | 1.5    |     | N     | PV        | 1.5    |     | N     | PV        | 1.5    |
| 4   | D     | MADE      |        | 14  | D     | MADE      |        | 24  | D     | MADE      |        |
|     | N     | MADE      |        |     | N     | MADE      |        |     | N     | MADE      |        |
| 5   | D     | MADE      |        | 15  | D     | MADE      |        | 25  | D     | MADE      |        |
|     | N     | MADE      |        |     | N     | MADE      |        |     | N     | MADE      |        |
| 6   | D     | PV        | 1.5    | 16  | D     | PV        | 1.5    | 26  | D     | PV        | 1.5    |
|     | N     | PV        | 1.5    |     | N     | PV        | 1.5    |     | N     | PV        | 1.5    |
| 7   | D     | PV        | 1.5    | 17  | D     | PV        | 1.5    | 27  | D     | PV        | 1.5    |
|     | N     | PV        | 1.5    |     | N     | PV        | 1.5    |     | N     | PV        | 1.0    |
| 8   | D     | PV        | 1.5    | 18  | D     | PV        | 1.5    | 28  | D     | MADE      |        |
|     | N     | PV        | 1.5    |     | N     | PV        | 1.5    |     | N     | MADE      |        |
| 9   | D     | MADE      |        | 19  | D     | MADE      |        | 29  | D     | MADE      |        |
|     | N     | MADE      |        |     | N     | MADE      |        |     | N     | MADE      |        |
| 10  | D     | MADE      |        | 20  | D     | MADE      |        |     |       |           |        |
|     | N     | MADE      |        |     | N     | MADE      |        |     |       |           |        |

Nota. Fuente: Elaboración propia.

## F. En referencia a la seguridad operacional

### o Identificación de peligros y evaluación de riesgos.

Bajo este sistema el personal recibe formación previa para reconocer peligros, así como para evaluar y gestionar riesgos IPERC, además de instruirse en los estándares, procedimientos y prácticas de trabajo seguros establecidos en el diseño y el proceso constructivo de las diferentes chimeneas con un sistema PEM con estructuras metálicas y plataformas para diferentes niveles según se observa:



**Tabla 28.**

*Peligros, riesgos y medidas de control*

| PELIGROS                                     | RIESGOS                         | MEDIDAS DE CONTROL                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----------------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>GASES DE LA VOLADURA</b>                  | <b>GASEAMIENTO DEL PERSONAL</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ventilación auxiliar</li> <li>• Ventilación secundaria.</li> <li>• Uso de medidor de aire.</li> </ul>                                                                                                                                                   |
| <b>ALTURA, LABOREO SUBTERRÁNEO EN ALTURA</b> | <b>CAIDA DE PERSONAS</b>        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Certificación de suficiencia médica.</li> <li>• Plataformas metálicas de operación y seguridad.</li> <li>• Uso de arneses con línea de vida.</li> <li>• Uso del sistema de cable y sujetadores al subir y bajar las escaleras.</li> </ul>               |
| <b>ROCAS, CAÍDA DE ROCAS.</b>                | <b>IMPACTO AL PERSONAL</b>      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluación geomecánica del proyecto.</li> <li>• Desatado permanente.</li> <li>• Sostenimiento por arco natural</li> <li>• Voladura controlada en sección.</li> <li>• Sostenimiento por soporte externo o refuerzo interno (pasivo o activo).</li> </ul> |

Fuente: Elaboración propia.

#### **o Implementación de Procedimientos de Trabajo Seguro.**

La implementación sistemática de normas de trabajos se rige como el pilar fundamental dentro de un Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SGSST) para controlar y disminuir de manera sostenible las tasas de incidentes y

lesiones laborales en operaciones mineras. Esta postura se sustenta en los siguientes principios clave:

**Gestión Proactiva del Riesgo:** Los PETS actúan como herramienta de prevención primaria, al establecer los métodos correctos para ejecutar una tarea. En lugar de reaccionar ante los accidentes, se identifican los peligros inherentes a cada labor (como trabajos en altura, manejo de energías peligrosas, operación de maquinaria pesada o espacios confinados) y se definen las barreras y controles necesarios para neutralizarlos antes de que se materialicen en daño (Ministerio de Energía y Minas, 2017).

**Estandarización:** La variabilidad en el diseño y construcción de la chimenea es una fuente constante de riesgo. Los PETS estandarizan las operaciones, asegurando que todos los trabajadores, con independencia de su experiencia o antigüedad, realicen las actividades críticas de la misma manera segura y predecible. Esta uniformidad elimina las decisiones improvisadas y las prácticas inseguras, que son causas recurrentes de eventos no deseados.

Los PETs implementados, reducen significativamente los riesgos a los que se está expuesto el personal, Rodríguez, señala que los procedimientos de trabajo seguro mejora la calidad de vida y las relaciones laborales de los colaboradores, reduciendo la ocurrencia de riesgos laborales en la Unidad Minera Pomasi (Rodríguez Gutiérrez, 2021).

- PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO DE CHIMENEAS PEMCHI
- PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO DE PERFORACION Y VOLADURA DE CHIMENEAS CON EL SISTEMA PEMCHI.

o **Cálculo de Factores de Seguridad (Frecuencia, Severidad y Accidentabilidad)**

Horas trabajadas Sin PEM = 9 x 12 x 40

Horas trabajadas Sin PEM = 4320 Hr

Número de Accidentes = 03 Accidentes

Días Perdidos = 12 días, 03 días y 04 días correspondientemente.

**Horas trabajadas Con PEM = 9 x 12 x 29**

Horas trabajadas Sin PEM = 3132 Hr

Número de Accidentes = 01 Accidentes

Días Perdidos = 02 días.

**Índice de Frecuencia (IF):**

$$IF = \frac{N^{\circ} \text{ de Accidentes con tiempo perdido} \times 1000000}{\text{Horas trabajadas}}$$

$$IF \text{ Sin PEM} = 694.444$$

$$IF \text{ Con PEM} = 319.284$$

**Índice de Severidad (IS):**

$$IS = \frac{N^{\circ} \text{ de dias perdidos} \times 1000000}{\text{Horas trabajadas}}$$

$$IS \text{ Sin PEM} = 4398.14$$

$$IS \text{ Con PEM} = 638.56$$

**Índice de Accidentabilidad (IA):**

$$IA = \frac{IF \times IS}{1000}$$

$$IA \text{ Sin PEM} = 3054.269547$$

$$IA \text{ Con PEM} = 203.8855696$$

Los índices de frecuencia, severidad y accidentabilidad muestran una mejora sustancial en seguridad laboral con el método PEM frente al tradicional, lo que indica mayor efectividad en prevención de accidentes.

## CAPITULO IV

### ANALISIS DE RESULTADOS Y DISCUCIONES

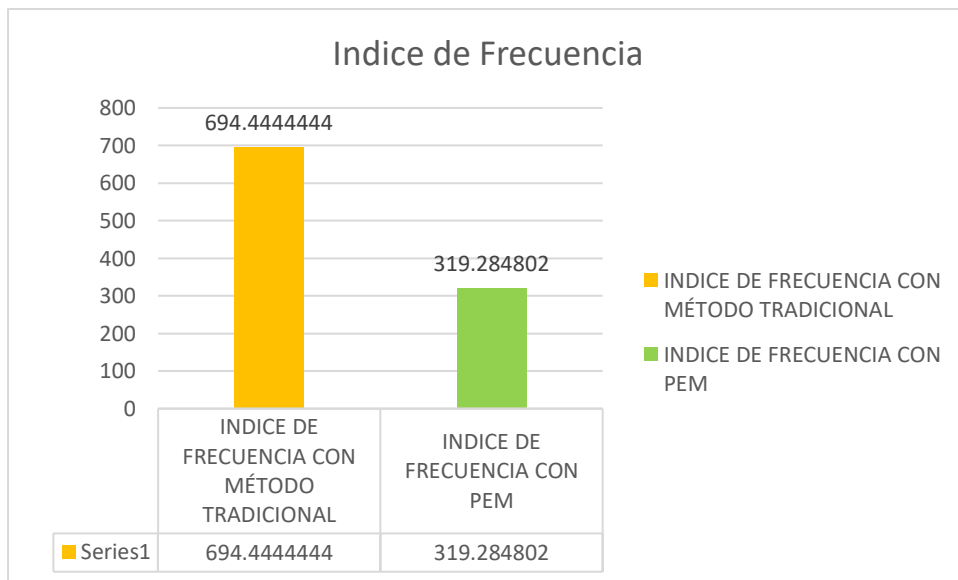
#### 4.1 Análisis de resultados

##### 4.1.1. Índices de Seguridad

##### A. Índice de Frecuencia

**Figura 31.**

Índice de Frecuencia



Nota: Fuente elaboración Propia, (2025).

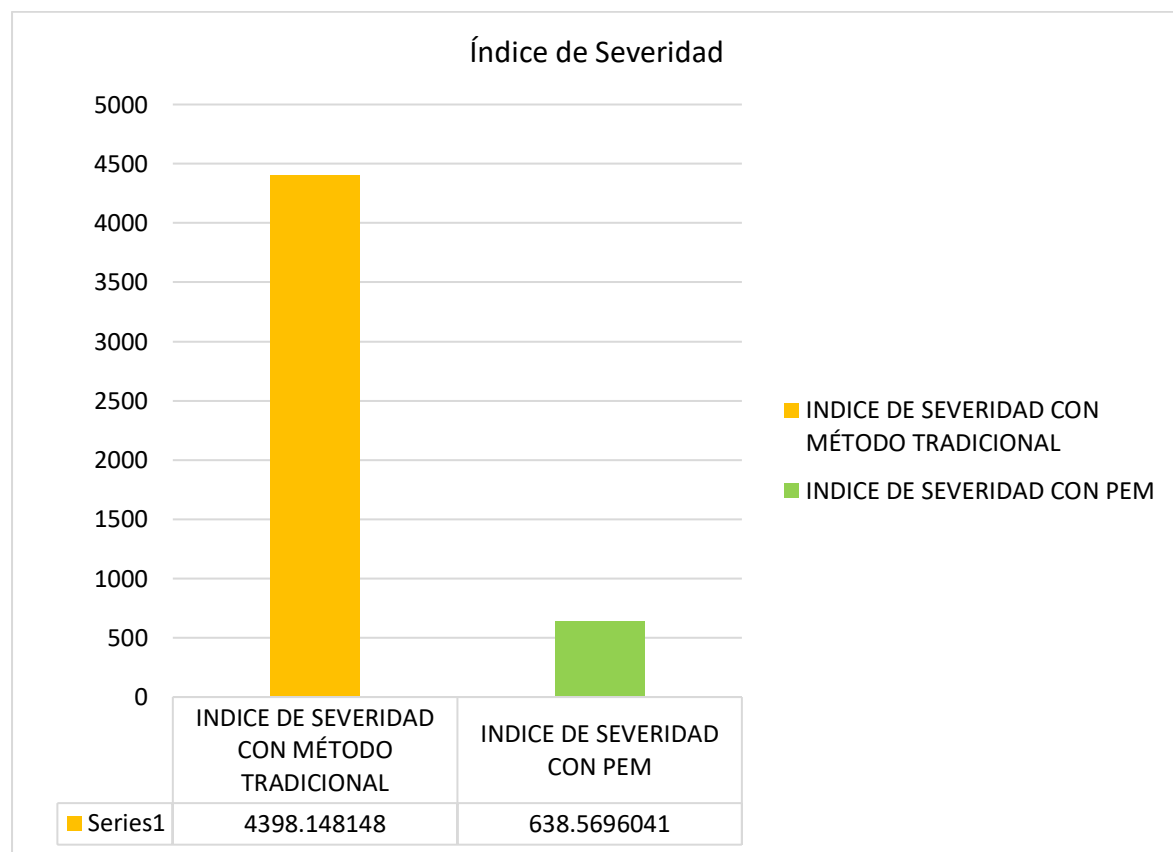
La gráfica del índice de frecuencia indica cuántos accidentes con tiempo perdido ocurren por cada cantidad estándar de horas trabajadas (normalmente por 1 000 000 de horas), y permite comparar el riesgo de que ocurra un accidente entre ambos métodos.

La segunda barra (verde) es menor a la primera barra, lo que demuestra que, lo que demuestra que, con las plataformas metálicas, se producen mucho menos accidentes por la misma cantidad de horas trabajadas, evidenciando una mejora clara respecto a seguridad.

## B. Índice de Severidad

**Figura 32.**

Índice de Severidad



Nota: Fuente elaboración Propia, (2025).

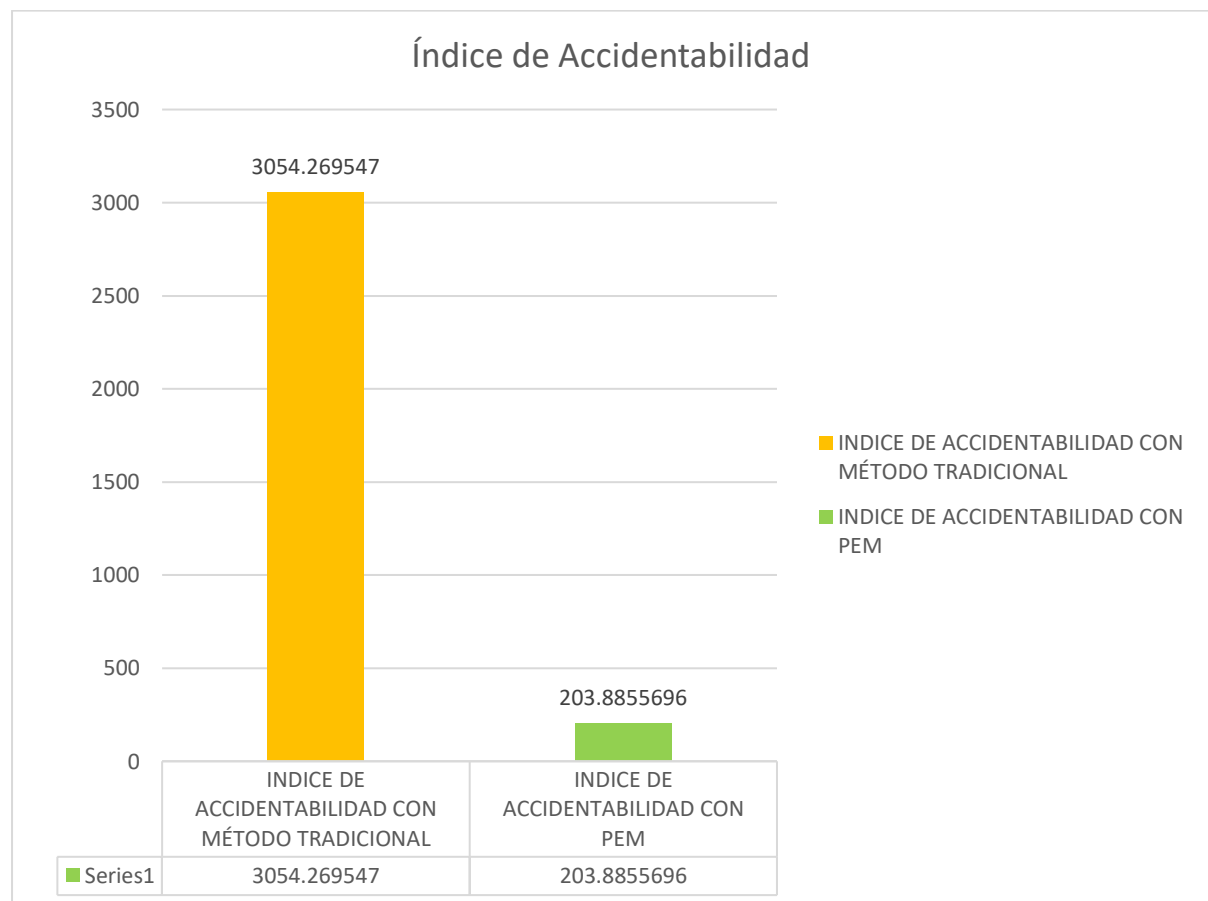
El gráfico del índice de severidad muestra cuántos días de trabajo se pierden por accidentes por cada cantidad estándar de horas trabajadas (por 1 000 000 de horas), y refleja qué tan graves son los accidentes en cada empresa. En el gráfico, la segunda barra (verde) es mucho más baja que la de la primera lo que indica que, aunque puede haber accidentes, estos generan muchos

menos días perdidos, es decir, las lesiones son menos graves y el impacto sobre la continuidad del trabajo es notablemente menor cuando se utilizan plataformas metalizadas.

### C. Índice de Accidentabilidad

**Figura 33.**

*Índice de Accidentabilidad*



Nota: Fuente elaboración Propia, (2025).

En la gráfica, el índice de accidentabilidad muestra, de forma resumida, el nivel total de siniestralidad con cada método, porque integra cuántos accidentes ocurren (frecuencia) y cuántos días se pierden por ellos (severidad) en un solo valor. En la gráfica, la segunda barra de accidentabilidad (verde) es mucho más baja lo que indica que, usando plataformas

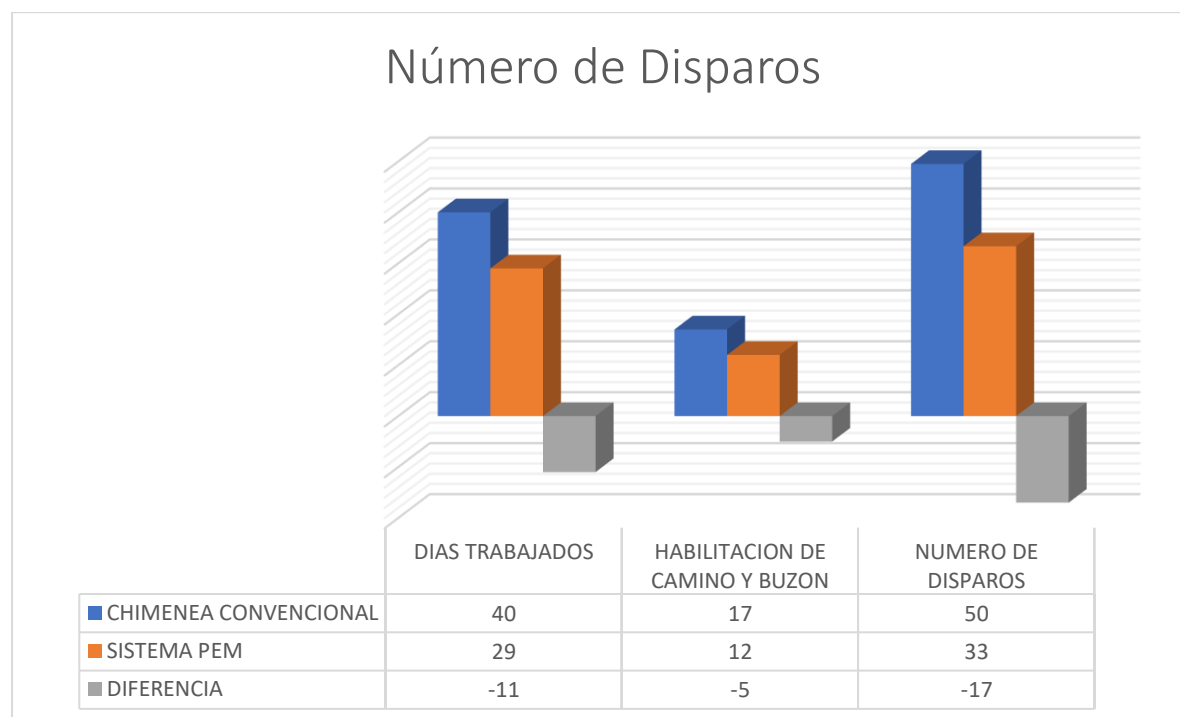
metalizadas, el conjunto de accidentes es menor y menos grave, evidenciando una mejora clara en la gestión de la seguridad.

#### 4.1.2. Eficiencia de avance entre chimenea convencional y empleando el Sistema Plataforma Escalera Metálico

La figura mostrada permite visualizar las diferencias existentes entre los procedimientos utilizados, considerando los días laborados, la habilitación de caminos o buzón y el número de disparos, comparando la chimenea tradicional con el sistema PEM. (plataformas y escaleras metálicas).

**Figura 34.**

*Número de Disparo por Labor*



Nota. Fuente: Elaboración propia, (2025).

En la tabla 34 se presenta la comparación de la eficiencia de avance entre la chimenea convencional y el uso del Sistema de Plataforma Escalera Metálica, considerando aspectos

como los días trabajados, la habilitación del camino, la cantidad de disparos realizados, así como la utilización de puntas, listones, tablas y escaleras en el proceso de ejecución de la chimenea.

**Tabla 29.**

*Eficiencia de avance entre chimenea convencional y Sistema P.E.M.*

| EFICIENCIA DE AVANCE ENTRE CHIMENEA CONVENCIONAL Y SISTEMA P.E.M. |                              |                |                |              |
|-------------------------------------------------------------------|------------------------------|----------------|----------------|--------------|
|                                                                   | CHIMENEA<br>CONVENCIONA<br>L | SISTEMA<br>PEM | DIFERENCI<br>A | UNIDADE<br>S |
| TOTAL, DE AVANCE                                                  | 50                           | 50             | 0              | m            |
| DIAS TRABAJADOS                                                   | 40                           | 29             | -11            | Días         |
| HABILITACIÓN DE CAMINO Y<br>BUZON                                 | 17                           | 12             | -5             | Días         |
| NUMERO DE DISPAROS                                                | 50                           | 30             | -20            | Disp.        |
| NUMERO DE PUNTALES                                                | 153                          | 68             | -85            | Und.         |
| NUMEROS DE LISTONES                                               | 104                          | 72             | -32            | Und.         |
| NUMERO DE TABLAS                                                  | 224                          | 112            | -112           | Und.         |
| NUMEROS DE ESCALERAS                                              | 26                           | 17             | -9             | Und.         |

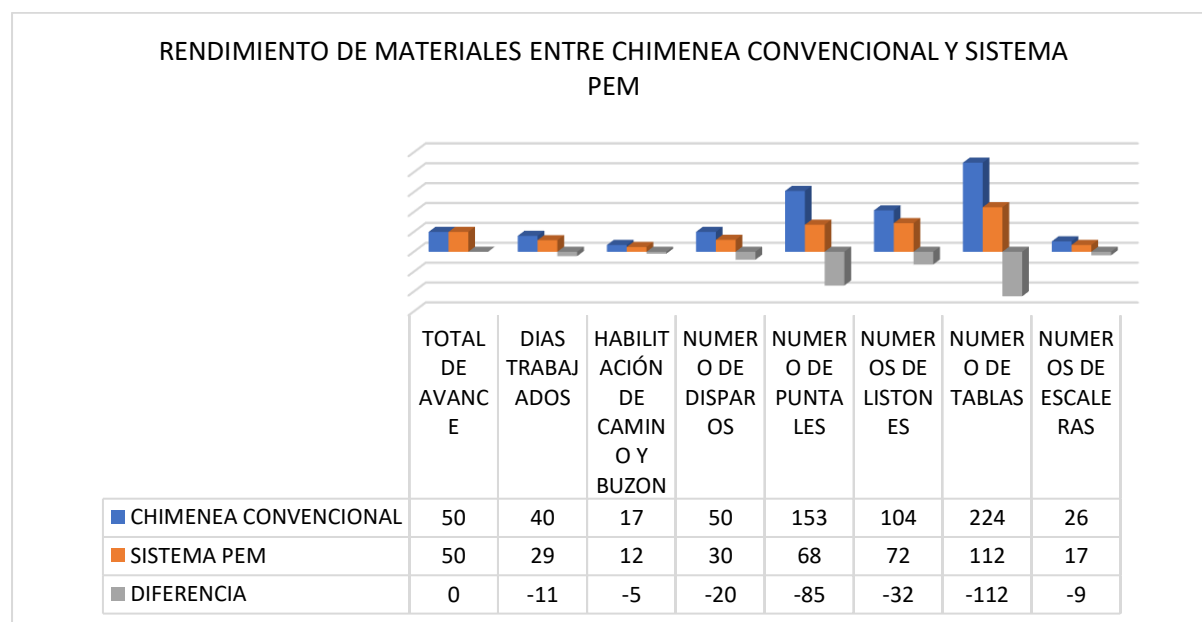
Nota. Fuente: Elaboración propia

La Figura 35, ilustra las diferencias existentes entre la chimenea tradicional y la utilización del sistema de plataforma con escalera metálica, destacando los principales contrastes entre ambos métodos.



**Figura 35.**

*Diferencias existentes entre la chimenea tradicional y la utilización del sistema de plataforma con escalera metálica*



Nota. Fuente: Elaboración propia

- o En el caso de los puntales, la chimenea convencional utiliza un total de 153 unidades, en contraste, con el conjunto de plataformas y escaleras metálicas se logra emplear 68, lo que representa un ahorro de 85 puntales al optar por este método.
- o Para los listones, la chimenea tradicional requiere 104 unidades, pero utilizando el sistema de plataformas metálicas se disminuye a 72, logrando una diferencia favorable de 32 listones.
- o Respecto a las tablas, el método convencional exige 224, en contraste con las 112 necesarias en el sistema de plataformas, con un ahorro significativo de 112 tablas.

- o En cuanto a las escaleras, la chimenea convencional emplea 26 unidades, mientras que el sistema con plataformas escalera metálica solo requiere 17, permitiendo ahorrar 9 escaleras.
- o Finalmente, el número de disparos se reducen en 20 disparos entre ambos métodos para el diseño y construcción de chimeneas de 50 m.

#### **4.1.2. Cálculo de costos con el sistema PEM.**

La Tabla 30 presenta un análisis comparativo de los costos de perforación incurridos durante el diseño y el proceso constructivo de la estructura de la chimenea, contrastando el método tradicional con el sistema de plataforma metálica, registrada entre ambos métodos asciende a \$107.43, indicando un ahorro significativo al implementar el sistema metálico.

**Tabla 30.**

*Análisis comparativo de los costos de perforación*

| Descripción                         | Unidades      | Met.<br>Convencional | S. PEMCHI | Diferencia |
|-------------------------------------|---------------|----------------------|-----------|------------|
| <b>Long Chimeneas 3.0 m x 1.5 m</b> | metros        | 50                   | 50        |            |
| <b>Barreno</b>                      | Pies          | 4.00                 | 6.00      | 2.00       |
| <b>Nro. taladros Perforados</b>     | Taladros      | 29.00                | 29.00     | 0.00       |
| <b>Eff. Perforación</b>             | %             | 92%                  | 92%       | 0.00       |
| <b>Longitud perforada</b>           | Pies          | 3.68                 | 5.52      | 1.84       |
| <b>Eff. Voladura</b>                | %             | 90%                  | 90%       | 0.00       |
| <b>Avance por disparo</b>           | metros        | 1.01                 | 1.51      | 0.50       |
| <b>Pies perforados por disparo</b>  | PP./disp.     | 106.72               | 160.08    | 53.36      |
| <b>Vida útil de barreno 4 pies</b>  | PP.           | 1200                 | 1200      | 0.00       |
| <b>Vida útil de barreno 6 pies</b>  | PP.           | -                    | 1200      | -          |
| <b>Vida útil de broca 38 mm.</b>    | PP.           | 300.00               | 300.00    | 0.00       |
| <b>Rendimiento barreno 4 pies</b>   | Disp./barreno | 11.24                | 10.75     | -0.49      |
| <b>Rendimiento barreno 6 pies</b>   | Disp./barreno | 0.00                 | 22.49     | 22.49      |

|                                                  |                   |              |              |              |
|--------------------------------------------------|-------------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>Rendimiento de broca</b>                      | Disp./broca       | 2.81         | 1.87         | -0.94        |
| <b>Costo barreno de 4 pies</b>                   | dólares/barreno   | 70.60        | 70.60        | 0.00         |
| <b>Costo barreno de 6 pies</b>                   | dólares/barreno   | -            | 91.50        | -            |
| <b>Costo de broca de 38 mm.</b>                  | dólares/broca     | 25.50        | 25.50        | 0.00         |
| <b>Costo por pie perforado de barreno 4 pies</b> | \$/PP.            | 0.06         | 0.06         | 0.00         |
| <b>Costo por pie perforado de barreno 6 pies</b> | \$/PP.            | -            | 0.08         | -            |
| <b>Costo por pie perforado de broca</b>          | \$/PP.            | 0.09         | 0.09         | 0.00         |
| <b>Costo por taladro</b>                         | \$/taladro        | 0.039        | 0.040        | 0.00         |
| <b>Costo por disparo perforación</b>             | <b>\$/disparo</b> | <b>1.13</b>  | <b>1.16</b>  | <b>0.02</b>  |
| <b>kg. Por disparo</b>                           | kg. /disp.        | 17.52        | 25.24        | 7.72         |
| <b>Factor de carga lineal</b>                    | kg. /m.           | 17.36        | 16.67        | -0.69        |
| <b>Costo perforación por metro</b>               | <b>\$/metro</b>   | <b>20.35</b> | <b>18.44</b> | <b>-1.92</b> |

Fuente: Elaboración propia

- En relación a los barrenos, el sistema P.E.M. perfora con barrenos de 6 pies.
- La longitud de pies perforados en el sistema P.E.M. es 1.84 pies mayor que con el sistema convencional.
- El avance por disparo con el Sistema P.E.M. se ve incrementado en 49% más que con el método convencional, debido a que este trabaja con barrenos de 6 pies.

#### **D. Cálculo de costos de voladura entre chimenea convencional y empleando el sistema Plataformas Escaleras Metálicas.**

La Tabla 31 presenta un análisis comparativo de los costos de voladura incurridos durante la construcción de la chimenea. La diferencia total registrada entre ambos métodos asciende a \$17.85, indicando un ahorro significativo al implementar el sistema metálico

**Tabla 31.***Costos de voladura*

| Descripción                        | Sistema Convencional | Sistema PEM   | Diferencia    |
|------------------------------------|----------------------|---------------|---------------|
| Nro. Taladros Perforados           | 29.00                | 29.00         | 0.00          |
| Nro. Taladros Cargados             | 28.00                | 28.00         | 0.00          |
| Nro. Taladros de Alivio            | 1.00                 | 1.00          | 0.00          |
| Carmex 9 pies                      | 28.00                | 28.00         | 0.00          |
| Mecha Rápida                       | 15.00                | 15.00         | 0.00          |
| Emulnor 5000 1"x16"                | 10.55                | 8.58          | -1.97         |
| Emulnor 3000 1"x16"                | 6.97                 | 8.41          | 1.44          |
| Emulnor 1000 1"x16"                | 0.00                 | 8.25          | 8.25          |
| Costo unitario carmex 9 pies       | 1.22                 | 1.22          | 0.00          |
| Costo unitario Mecha rápida        | 0.56                 | 0.56          | 0.00          |
| Costo unitario Emulnor 5000 1"x16" | 3.29                 | 3.29          | 0.00          |
| Costo unitario Emulnor 3000 1"x16" | 3.17                 | 3.17          | 0.00          |
| Costo unitario Emulnor 1000 1"x16" | 3.05                 | 3.05          | 0.00          |
| <b>Costo total voladura</b>        | <b>99.36</b>         | <b>122.61</b> | <b>23.25</b>  |
| Kg. Explosivo                      | 17.52                | 25.24         | 7.72          |
| Avance real                        | 0.99                 | 1.48          | 0.49          |
| Factor de carga lineal             | 17.74                | 17.04         | -0.70         |
| <b>Costo por metro</b>             | <b>100.62</b>        | <b>82.77</b>  | <b>-17.85</b> |

Fuente: Elaboración propia

### **E. Cálculo de costos de materiales entre chimenea convencional y empleando el sistema Plataformas Escaleras Metálicas.**

En el Tabla 26 se ilustra las variaciones en los costos de materiales entre la chimenea convencional y el uso del sistema plataforma escalera metálica durante la construcción. Estas variaciones se detallan a continuación:

**Tabla 32.**

*Costo de materiales entre chimenea convencional y usando Plataformas y escaleras metálicas*

| DESCRIPCIÓN           | CHIMENA CONVENCIONAL |          |             | SISTEMA PEM |          |             | DIFERENCIA   |
|-----------------------|----------------------|----------|-------------|-------------|----------|-------------|--------------|
|                       | UND.                 | PU       | US\$        | UND.        | PU       | US\$        | US\$         |
| NUMERO DE PUNTALES    | 153                  | \$ 7.07  | \$ 1,081.71 | 68          | \$ 7.07  | \$ 480.76   | \$ -600.95   |
| NUMEROS DE LISTONES   | 104                  | \$ 4.47  | \$ 464.88   | 72          | \$ 4.47  | \$ 321.84   | \$ -143.04   |
| NUMERO DE TABLAS      | 224                  | \$ 6.18  | \$ 1,384.32 | 112         | \$ 6.18  | \$ 692.16   | \$ -692.16   |
| NUMEROS DE ESCALERAS  | 26                   | \$ 11.66 | \$ 303.16   | 17          | \$ 13.22 | \$ 224.74   | \$ -78.42    |
| NUMERO DE PLATAFORMAS |                      |          |             | 2           | \$ 84.00 | \$ 168.00   | \$ 168.00    |
| CORREDIZO             |                      |          |             | 4           | \$ 28.40 | \$ 113.60   | \$ 113.60    |
| ANCLAJE               |                      |          |             | 34          | \$ 2.41  | \$ 81.94    | \$ 81.94     |
| GANCHO                |                      |          |             | 4           | \$ 2.10  | \$ 8.40     | \$ 8.40      |
| TOTAL DE MATERIAL     | 507                  |          | \$ 3,234.07 | 313         |          | \$ 2,091.44 | \$ -1,142.63 |

Fuente: Elaboración propia.

- El costo asociado a los puntales empleados en la chimenea convencional es de \$1081.71, mientras que, al utilizar el sistema de plataformas con escaleras metálicas, este monto disminuye a \$480.76, representando un ahorro de \$600.95 al optar por este sistema.
- En el caso de los listones, el gasto es de \$464.88 para la chimenea tradicional, y baja a \$321.84 con el sistema metálico, equivalente a \$143.04 de diferencia favorable.
- Respecto a las tablas, la chimenea convencional demanda \$1384.32, mientras que el sistema plataforma metálica reduce este valor a \$692.16, logrando un ahorro significativo.

- Por otra parte, en cuanto a las escaleras, el costo con método convencional es de \$303.16, mientras que con el sistema de plataformas escalera metálica se registra un gasto de \$224.74, resultando en un ahorro de \$78.42.
- Finalmente, con respecto a lo que son las plataformas, corredizos, anclajes y ganchos, elementos propios del Sistema P.E.M. asciende a un monto de \$371.94.

#### **F. Cálculo de costos generales entre chimenea convencional y empleando el Sistema de Plataformas y Escaleras Metálicas.**

En la Tabla 33 se detallan los costos de cada una de las actividades ejecutadas durante la construcción de la chimenea, estableciendo una comparación entre el procedimiento tradicional y el Sistema de Plataforma Escalera Metálica. El análisis revela una diferencia total de \$2682.19, lo cual indica un ahorro notable al emplear el sistema metálico.

**Tabla 33.**

*Costos asociados a cada actividad realizada durante la construcción de la chimenea*

#### **COSTOS GENERALES ENTRE CHIMENEA CONVENCIONAL Y SISTEMAS P.E.M.**

|                                                     | CHIMENEA CONVENCIONAL |        |          | SISTEMA PEM |        |         | DIFERENCIA |
|-----------------------------------------------------|-----------------------|--------|----------|-------------|--------|---------|------------|
|                                                     | PU                    | US\$   |          | PU          | US\$   |         |            |
| <b>COSTOS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA</b>             | 50                    | 120.97 | 6048.5   | 50          | 101.21 | 5060.5  |            |
| <b>COSTOS DE MO</b>                                 | 3                     | 93.27  | 279.81   | 2           | 80.64  | 161.28  |            |
| <b>COSTO DE MATERIALES</b>                          | 50                    | 20.35  | 1017.5   | 50          | 18.44  | 922     |            |
| <b>COSTO DE IMPLEMENTOS, HERRAMIENTAS Y EQUIPOS</b> | 50                    | 21.26  | 1063     | 50          | 19.01  | 950.5   |            |
| <b>COSTO DE MADERA</b>                              | 50                    | 64.68  | 3234     | 50          | 29.9   | 1495    |            |
| <b>COSTO DE SISTEMA PEM</b>                         |                       |        | 0        | 50          | 7.4268 | 371.34  |            |
| <b>COSTO TOTAL</b>                                  |                       |        | 11642.81 |             |        | 8960.62 | -2682.19   |

Nota. Fuente: Elaboración propia

- Las labores de perforación y voladura realizadas bajo el método tradicional de construcción de chimeneas implican un gasto total de \$6,048.5. Al aplicar el sistema de plataformas con escaleras metálicas, dicho monto se reduce a \$5,060.5, reflejando una economía de \$988.
- En lo referente al sostenimiento con puntales en línea, el método convencional requiere una inversión de \$3,234. En contraste, el uso del sistema metálico disminuye este costo a \$1,866.34, dicho costo se reduce a \$1866.34, resultando en un ahorro significativo de \$1367.66 al utilizar este método.

## 4.2. Discusiones

- o La experiencia presentada en el estudio sobre el sistema Plataforma Escalera Metálica (PEM) en la minería subterránea, al igual que los resultados de la Unidad de Producción Minera Troy SAC, confirma que el PEM representa una solución versátil y rentable frente a los métodos convencionales basados en madera, (Carranzá Zárate & Quispe Salas, 2015). La reducción significativa de costos en la construcción de chimeneas con PEM, con una disminución aproximada del 20% en relación a los costos por el método convencional de enmaderado, no solo evidencia su viabilidad económica, sino que también está acompañada de un aumento del 50% en la productividad, lo que implica beneficios considerables en el avance de obra. No obstante, en la Unidad Minera Pomasi SAC, los costos se ven reducidos en 23.03% con un aumento de productividad de avance en 49% estos hallazgos coinciden con las conclusiones de la presente investigación, que destacan la importancia de las innovaciones, Además, la mejora en la eficiencia se refleja claramente en la reducción de días trabajados, menor habilitación de caminos y un menor número de disparos, demostrando una optimización efectiva de recursos y tiempos.
- o Quiñones Taipe (2024) indica que la construcción de chimeneas con el sistema PEM influyo en la reducción de costos de producción en la cia Minera Kolpa SA. Demostrando una reducción favorable de \$ 3817.73 además, señala que el costo de puntales disminuyo en \$622.3, el costo de listones disminuyo en \$ 153 y el costo de tablas disminuyo en \$78.42., montos que no son nada ajenos a los costos reducidos en la Unidad Minera Pomasi, disminuyendo el costo en \$2682.19 (donde el costo de puntales disminuye en \$ 600.95, el costos de listones disminuye en \$ 143 y el costo de tablas disminuye en \$ 692.16).
- o A diferencia de lo que señala Arocutipa-Charrez (2015) quien encontró que la excavación de chimeneas mediante el método convencional permitió ejecutar 115.20 metros en 30



días y el sistema de Plataformas y Escaleras Metálicas (PEM) logró 52 metros en ese mismo período, en la experiencia de Pomasi las cifras obtenidas fueron distintas. Allí, se registró la ejecución de 50 metros en 40 días usando el método convencional, mientras que la misma longitud fue completada en solo 29 días con el sistema PEM. Esto evidencia que, en Pomasi, el uso del sistema PEM permitió un ahorro importante de tiempo respecto al método tradicional, corroborando su eficiencia en contextos operativos reales.

## CONCLUSIONES

- La implementación del sistema PEM influyó positivamente en los índices de Seguridad, disminuyendo IF, IS y IA en 54%, 80% y 91%.
- Los datos de la figura 31 evidencian que el Sistema de Plataforma Escalera Metálica (PEM) incrementa significativamente la eficiencia en el diseño y construcción de chimeneas frente al método convencional. El sistema redujo los días de trabajo de 40 a 29, la habilitación de camino y buzón de 17 a 12 días, y los disparos de 50 a 33. Estas mejoras reflejan una mejora en el proceso constructivo.
- La comparación de costos entre el método convencional y el Sistema de Plataformas y Escaleras Metálicas (PEM) muestra una reducción significativa en los costos de diseño y construcción. Según la Tabla 27, el costo de perforación y voladura disminuye de \$6,048.5 a \$5,060.5, y el de puntales de \$3,234 a \$1,866.34, generando un ahorro total de \$2,682.19. Esta reducción refleja un mejor uso de recursos gracias a la menor dependencia de madera y a la mayor eficiencia en las actividades de perforación y voladura. En conjunto, el sistema PEM se consolida como una alternativa más económica y operativamente eficiente que el método convencional.
- El Sistema de Plataforma Escalera Metálica (PEM) mejora la seguridad, eficiencia y economía en el diseño y construcción de chimeneas subterráneas, al reducir accidentes, tiempo de ejecución y costos en materiales, perforación, voladura y sostenimiento, consolidándose como una alternativa moderna y efectiva para la minería subterránea.

## RECOMENDACIONES

- Al área de Seguridad, se recomienda optimizar el tiempo de capacitaciones de los empleados recién incorporados, es fundamental implementar un programa de capacitación prolongado. En particular, se debe asegurar que los nuevos empleados comprendan claramente el objetivo y la secuencia operativa del trabajo con chimeneas utilizando el Sistema de Plataformas y Escaleras Metálicas (PEM). Esta formación contribuye a una integración más eficiente y segura en los trabajos específicos de la construcción minera.
- Se recomienda al área de mantenimiento que para proteger las estructuras metálicas utilizadas en las chimeneas PEM, es imprescindible aplicar pintura anticorrosiva que evite la oxidación y prolongue la vida útil de los materiales. Además, se debe realizar un mantenimiento preventivo continuo, que incluya actividades como el engrase regular de las uniones móviles en los corredizos de las plataformas, para asegurar un funcionamiento adecuado y duradero.
- Al área de Perforación y voladura se recomienda que el diseño de la malla de perforación y voladura controlada es clave para lograr una fragmentación adecuada del material. Esto permite optimizar la eficiencia en los procesos de carga y transporte, al mismo tiempo que minimiza los daños ocasionados por la voladura en los cuadrados de la chimenea, asegurando así la integridad y durabilidad de la estructura.
- Al área de geomecánica se recomienda que, se debe tener en cuenta que las rocas empleadas deben presentar un índice RMR mínimo de 60. Además, la inclinación va desde los 90° a 75° grados. Esta consideración es importante para asegurar las buenas prácticas y el diseño estructural durante el diseño, construcción y operación de la chimenea.

## REFERENCIAS

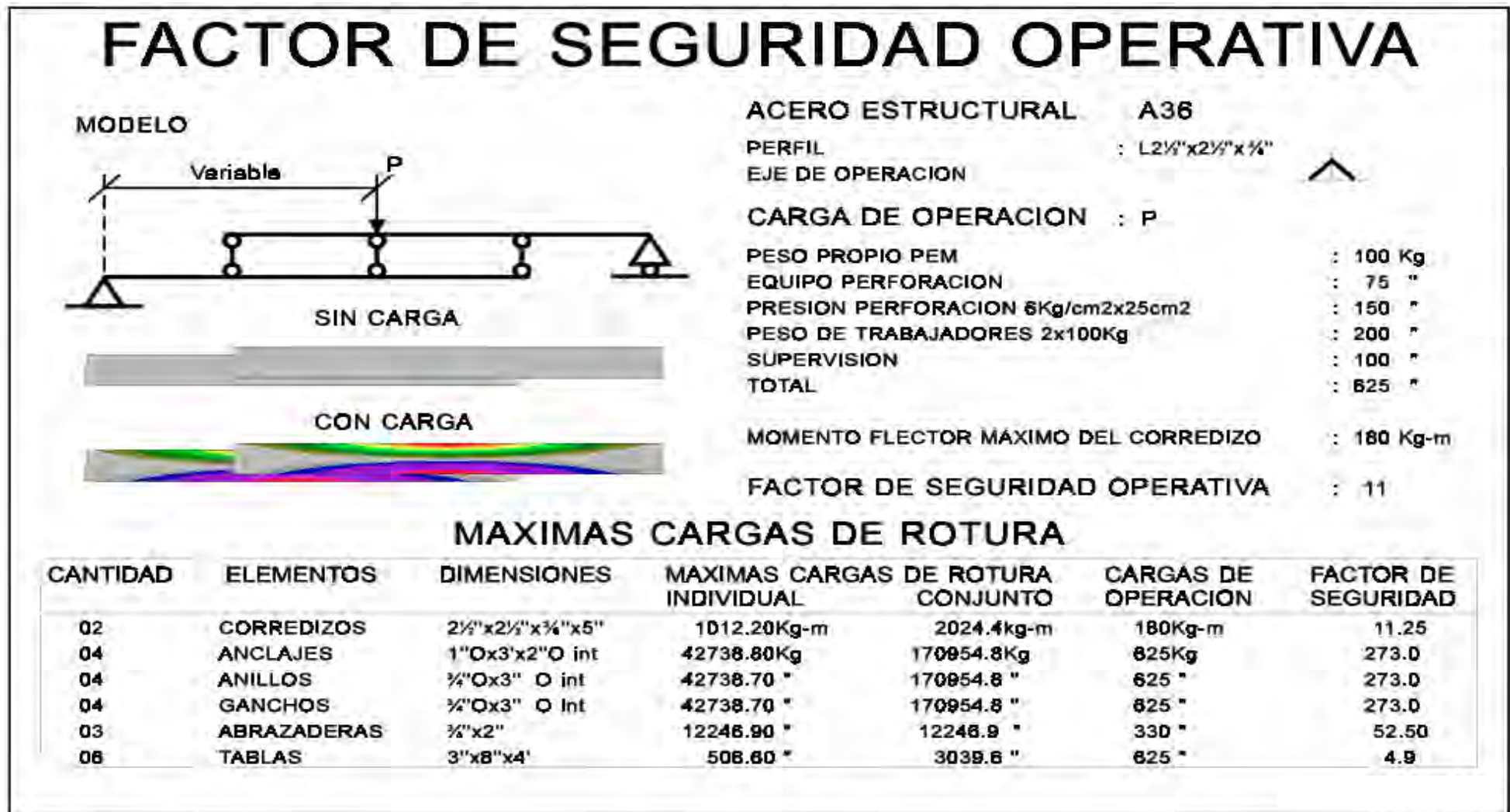
- Arocutipa-Charrez, F. E. (2015). Alternativas de construcción de chimeneas con el sistema plataformas y escaleras PEM vs. convencional con puntales de madera, E.E. AESA S.A.C. mina San Rafael [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa].
- Atlas Copco. (2007). Mining methods in underground mining. Industria Minera. <https://www.atlascopco.com/en-us/construction-equipment/industry/mining-industry>
- Bascope, R. (2019). Métodos de explotación en minería subterránea. Revista Boliviana de Minería, 12(2), 33–49.
- Bendezú, J. C. (2017). Diseño de chimeneas en minería subterránea con el sistema de plataformas metálicas (PEM) [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Ingeniería].
- Calva Chuchuca, V. F. (2019). Determinar la viabilidad económica en la construcción de dos chimeneas para optimizar el transporte subterráneo de mineral y estéril en la empresa minera Produmin SA en la veta Kathy [Tesis de licenciatura, Universidad Central del Ecuador].
- Carranzá Zárate, J. H., & Quispe Salas, M. C. (2015). Mejoramiento en el diseño de chimeneas en minería subterránea con el uso del sistema PEM en la Unidad de Producción Minera Troy S.A.C. [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte].
- CIM (Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum). (2014). Underground mining methods: Engineering fundamentals and international case studies. SME.
- Cisneros, A. (2020). Sostenimiento en excavaciones subterráneas y seguridad minera. Revista Peruana de Ingeniería de Minas, 14(1), 25–39.
- Chambi, E. (2018). Evaluación de métodos constructivos de chimeneas en minería subterránea: Estudio de caso en Puno [Tesis de maestría, Universidad Nacional del Altiplano].

- Famesa Explosivos. (2019). Ficha técnica Emulno. <http://www.famesaexplosivos.com/wp-content/uploads/2019/05/Ficha-Tecnica-Emulno.pdf>
- Flores, L. (2016). Optimización del sistema de ventilación mediante chimeneas PEM en minas subterráneas. *Revista Tecnología y Minería*, 22(3), 87–101.
- Gómez, R. (2017). Análisis estructural de escaleras metálicas en minería subterránea. *Revista Ingeniería y Desarrollo*, 15(1), 112–127.
- Gonzales, M. (2018). Seguridad en la construcción de chimeneas subterráneas con sistema PEM. *Revista Seguridad Minera*, 10(2), 41–56.
- Herrera Herbert, J. (2014). Introducción a las características de la minería subterránea. Universidad Politécnica de Madrid. <https://doi.org/10.20868/UPM.book.62723>
- INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática). (2021). Anuario de Estadísticas Ambientales y Mineras del Perú 2020. INEI.
- López, P. (2019). Eficiencia energética en sistemas de ventilación minera. *Revista Energía y Minería*, 5(2), 66–79.
- Ministerio de Energía y Minas. (2017). Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería. Lima: MINEM.
- Mora, D. (2016). Aplicación del método PEM en minas polimetálicas del sur del Perú [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Ingeniería].
- Navarro, J. (2018). Sistemas de sostenimiento en minería subterránea: análisis comparativo entre madera y metal. *Revista Latinoamericana de Ingeniería*, 9(4), 201–219.
- Organización Internacional del Trabajo (OIT). (2019). Seguridad y salud en las minas subterráneas. Oficina Internacional del Trabajo.
- Paredes, R. (2020). Innovación tecnológica en el sostenimiento de chimeneas con plataformas metálicas. *Revista Ciencia y Minería*, 8(2), 54–69.

- Pérez, C. (2015). Gestión de riesgos laborales en minería subterránea. *Revista Seguridad Ocupacional*, 7(1), 45–62.
- Quiñones Taipe, E. D. (2024). Construcción de chimeneas con el sistema de plataformas y escaleras metálicas (PEM) para la reducción de costos de producción en la Compañía Minera Kolpa S.A., Huancavelica, 2023 [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Centro del Perú].
- Ríos, A. (2018). Impacto económico del uso de chimeneas metálicas en minería subterránea. *Revista Minería y Economía*, 13(1), 72–85.
- Rodríguez Gutiérrez, F. L. (2021). El sistema de gestión de seguridad y el control de riesgos laborales en la unidad minera Pomasi-CIEMSA. 2020 [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Centro del Perú].
- SERNAGEOMIN (Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile). (2018). Guía de buenas prácticas en sostenimiento de excavaciones subterráneas. SERNAGEOMIN.
- Silva, J. (2016). Modelamiento numérico de la estabilidad de chimeneas subterráneas. *Revista Ingeniería Civil y Minera*, 11(3), 88–103.
- Tapia, H. (2019). Avances en el uso de sistemas mecanizados de ascenso en minería. *Revista Tecnología Minera*, 17(4), 130–145.
- Villavicencio, G. (2017). *Mecánica de rocas aplicada a excavaciones subterráneas*. Fondo Editorial PUCP.

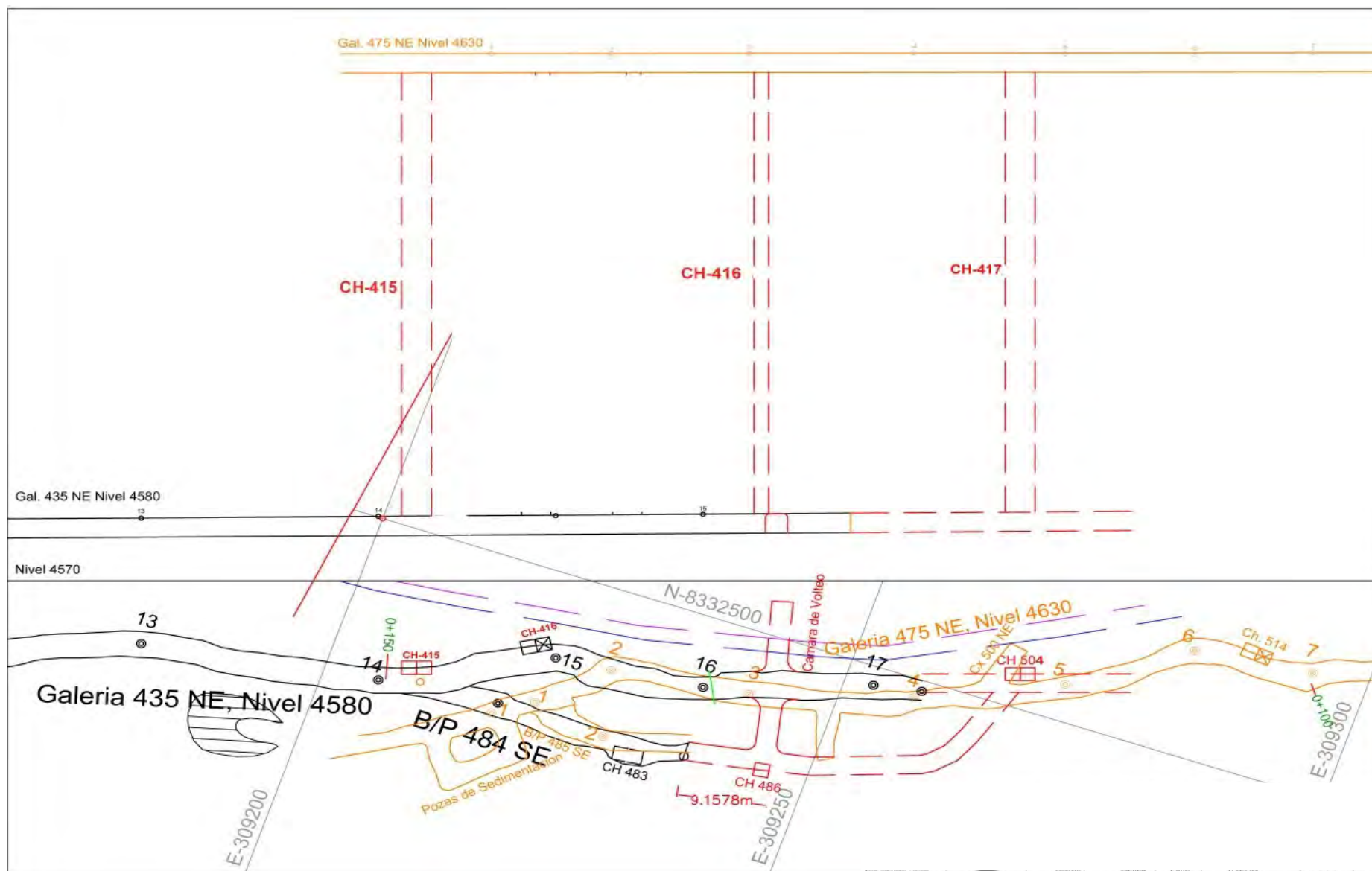
## ANEXOS.

### 1. FACTOR DE SEGURIDAD OPERATIVA



Nota. Fuente: Tovcor Ingenieros S.A.C. (2025)

## 2. PLANO DE UBICACIÓN





### 3. MATRIZ DE CONSISTENCIA

| TITULO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA CHIMENEA CH 415 MEDIANTE PLATAFORMAS Y ESCALERAS METÁLICAS (PEM) EN LA UNIDAD MINERA POMASI - PUNO .                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                       |                                                                       |                           |                            |                                                                                                                                                                                                                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|---------------------------|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Problema General                                                                                                                                                                                                                                           | Objetivo General                                                                                                                                                                                                                                             | Hipótesis General                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Variables                                                             | Dimensiones                                                           | Indicadores               | Método                     | Técnicas E Instrumento                                                                                                                                                                                           |
| ¿De qué manera la implementación del sistema de plataformas y escaleras metálicas (PEM) influye en la seguridad operacional, eficiencia de avance y costos durante el diseño y construcción de la Chimenea Ch 415 en la Unidad Minera Pomasi S.A.C., Puno? | Evaluar la influencia de la implementación del sistema de plataformas y escaleras metálicas (PEM) en la seguridad operacional, eficiencia de avance y costos durante el diseño y construcción de la Chimenea CH-415 en la Unidad Minera Pomasi S.A.C., Puno. | La implementación del sistema de plataformas y escaleras metálicas (PEM) influye positivamente mejorando los indicadores de seguridad operacional, mejorando la eficiencia de avance y reduciendo los costos durante el diseño y construcción de la Chimenea CH-415 en la Unidad Minera Pomasi S.A.C., Puno | Variable 1                                                            |                                                                       |                           | Enfoque De Investigación   | Técnicas de Investigación                                                                                                                                                                                        |
|                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Implementación del Sistema de plataformas y escaleras metálicas (PEM) | Implementación del Sistema de plataformas y escaleras metálicas (PEM) | Sección de Chimenea       | Cuantitativo               | Observación no experimental: Sera para profundizar en el conocimiento del comportamiento de la exploración. El instrumento utilizado en síntesis fue el siguiente:                                               |
|                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                       |                                                                       |                           | Tipo De Investigación      | Instrumento                                                                                                                                                                                                      |
|                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                       |                                                                       | Elementos del Sistema PEM | Explicativa                | En cuanto los instrumentos para la recolección de datos serán, hojas de cálculo, cuaderno de notas, procedimientos estandarizados, levantamientos topográficos, planos de ubicación, datos de la UM Pomasi, etc. |
| Problemas Específicos                                                                                                                                                                                                                                      | Objetivos Específicos                                                                                                                                                                                                                                        | Hipótesis Específicas                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Variable 2                                                            |                                                                       |                           |                            | Población                                                                                                                                                                                                        |
| ¿De qué manera la implementación del sistema de plataformas y escaleras metálicas (PEM) influye en la seguridad operacional durante el diseño y construcción de la Chimenea CH-415 en la Unidad Minera Pomasi S.A.C., Puno?                                | Determinar de qué manera la implementación del sistema de plataformas y escaleras metálicas (PEM) influye en la seguridad operacional durante el diseño y construcción de la Chimenea CH-415 en la Unidad Minera Pomasi S.A.C., Puno.                        | La implementación de plataformas y escaleras metálicas (PEM) influye positivamente mejorando los indicadores de seguridad operacional durante el diseño y construcción de la Chimenea CH-415, al reducir los índices de Frecuencia, Severidad y accidentabilidad.                                           | Seguridad operacional, Eficiencia de avance y Costos de construcción  | Seguridad Operacional                                                 | Índices de Seguridad      |                            | La población objetivo de la investigación realizada es la Unidad Minera Pomasi S.A.C, conformada por labores mineras subterráneas.                                                                               |
|                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                       |                                                                       |                           | Diseño De La Investigación |                                                                                                                                                                                                                  |
|                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                       |                                                                       |                           | No experimental            |                                                                                                                                                                                                                  |
|                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                       |                                                                       |                           |                            | La muestra para la presente investigación es el diseño y construcción                                                                                                                                            |

|                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                               |  |                         |                                                                  |  |                                                                                                                                                                                      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|-------------------------|------------------------------------------------------------------|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ¿Cómo influye la implementación del sistema de plataformas y escaleras metálicas (PEM) en la eficiencia de avance durante el diseño y construcción de la Chimenea 415 de la Unidad Minera Pomasi S.A.C., Puno? | Evaluar como el uso del sistema de plataformas y escaleras metálicas (PEM) influye en la eficiencia de avance durante el diseño y construcción de la Chimenea 415 de la Unidad Minera Pomasi S.A.C., Puno.         | La implementación de plataformas y escaleras metálicas (PEM) influye positivamente mejorando la eficiencia de avance durante el diseño y construcción de la Chimenea CH-415, al incrementar los avances por disparo.                                          |  | Eficiencia de avance    | Avance/Disparo<br>Número de Disparo<br>Tiempo total de ejecución |  | de una chimenea piloto Ch. 415 por el método de sistemas PEM. El tipo de muestra está en base a un muestreo no probabilístico, intencionalmente tomando la muestra por conveniencia. |
| ¿Cómo impacta la implementación del sistema de plataformas y escaleras metálicas (PEM) en los costos de diseño y construcción de la chimenea 415 en la Unidad Minera Pomasi S.A.C., Puno?                      | Analizar en qué medida la implementación del sistema de plataformas y escaleras metálicas (PEM) influye en los costos durante el diseño y construcción de la chimenea 415 en la Unidad Minera Pomasi S.A.C., Puno. | La implementación del sistema de plataformas y escaleras metálicas (PEM) influye en reducir los costos de diseño y construcción de la Chimenea CH-415 en la Unidad Minera Pomasi S.A.C., Puno, al disminuir los costos asociados a mano de obra y materiales. |  | Costos de construcción. | Costos directos por me lineal<br>Costo por HH empleada           |  |                                                                                                                                                                                      |

Nota: Fuente elaboración Propia

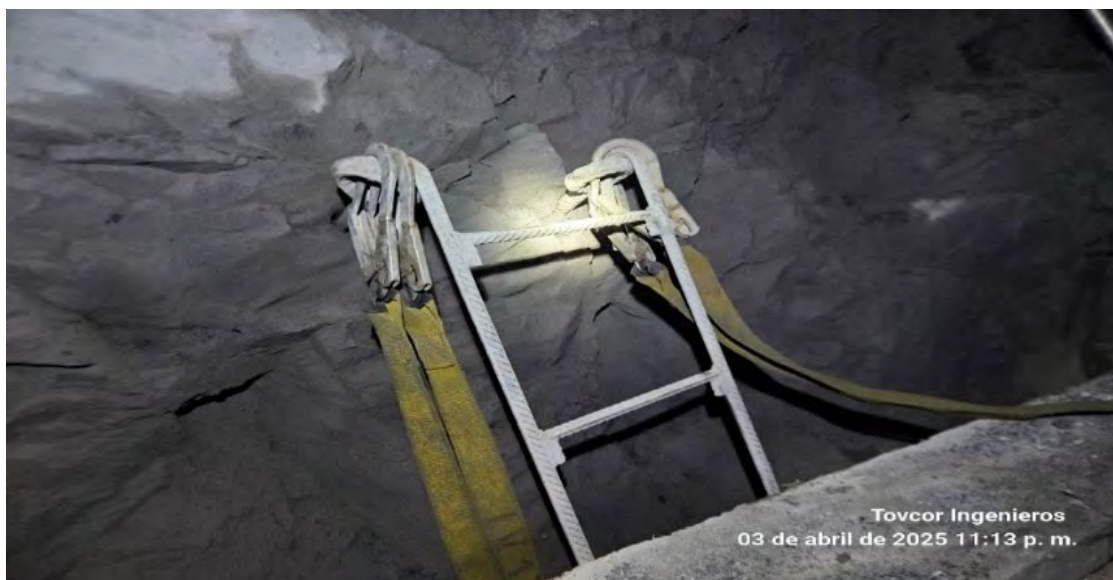
## 5. FOTOGRAFIAS DE LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA PEM

### 1.Instalacion de plataformas



Nota: Fuente Propia, (2025)

### 2.Instalación de Escaleras Metálicas



Nota: Fuente Propia, (2025)

### 3.Instalación de ganchos y anclajes.



Nota: Fuente Propia, (2025)