

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



Tesis

Aplicación del método Raise Boring para la mejora del sistema de ventilación en la chimenea 305 de la Unidad Minera Americana, Compañía Minera Sobre Andes – 2025

Presentado por:

Daisy Jiménez Ortega

Para optar el título de Ingeniero de Minas

Abancay, Perú

2026



UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



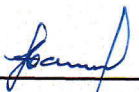
TESIS

Aplicación del método Raise Boring para la mejora del sistema de ventilación en la chimenea 305 de la unidad minera Americana, Compañía Minera Sobre Andes – 2025

Presentado por **Daisy Jiménez Ortega**, para optar el título de Ingeniero de Minas

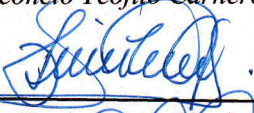
Sustentado y aprobado el 02 de julio del 2026 ante el jurado evaluador:

Presidente:



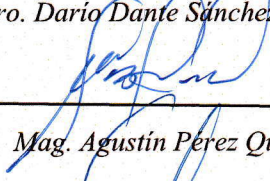
Dr. Leoncio Teófilo Carnero Carnero

Primer miembro:



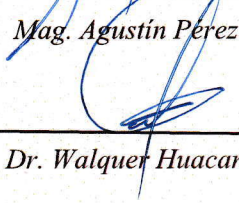
Mtro. Dario Dante Sánchez Castillo

Segundo miembro:



Mag. Agustín Pérez Quispe

Asesor:



Dr. Walquer Huacani Calsin

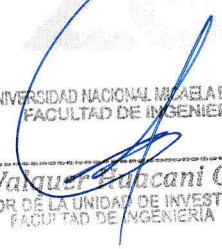


"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD
N° 153-2026

La Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, a través de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería declara que, la tesis titulada: **Aplicación del método Raise Boring para la mejora del sistema de ventilación en la chimenea 305 de la Unidad Minera Americana, Compañía Minera Sobre Andes - 2025**, Presentado por la bachiller: **Daisy Jiménez Ortega**; para optar el Título de **Ingeniero de Minas**; ha sido sometido a un mecanismo de evaluación y verificación de similitud, a través del Software Turnitin, siendo el índice de similitud ACEPTABLE de **(13%)** por lo que, cumple con los criterios de originalidad establecidos por la Universidad.

Abancay, 09 de junio del 2026


UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
Dr. Walquer Zupiani Calsin
DIRECTOR DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA

C. c.
Archivo
WHC/ DUI-FI
Yovana/sec
REG. N° 480

Agradecimiento

Agradecer a Dios por darme fortaleza y sabiduría, a mis padres por su apoyo incondicional, a la universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, a mi Facultad de Ingeniería de Minas y a todos mis docentes por sus enseñanzas, a mi asesor por su paciencia y orientación para el desarrollo de mi trabajo de investigación.



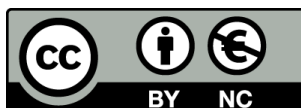
Dedicatoria

Dedico este trabajo de investigación a mis padres por su sacrificio, ejemplo y amor para seguir avanzando como profesional en todas mis etapas. A mis docentes quienes fueron inspiración para continuar mi camino como profesional.



Aplicación del método Raise Boring para la mejora del sistema de ventilación en la chimenea
305 de la unidad minera Americana, Compañía minera Sobre Andes – 2025
Línea de investigación: Minería y procesamiento de minerales

Esta publicación está bajo una Licencia Creative Commons



ÍNDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
RESUMEN	3
ABSTRACT	4
CAPÍTULO I	5
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
1.1 Descripción del problema	5
1.2 Enunciado del problema	6
1.2.1 Problema general	6
1.2.2 Problemas específicos	6
1.2.3 Justificación de la investigación	6
CAPÍTULO II	8
OBJETIVOS E HIPÓTESIS	8
2.1 Objetivos de la investigación	8
2.1.1 Objetivo general	8
2.1.2 Objetivos específicos	8
2.2 Hipótesis de la investigación	8
2.2.1 Hipótesis general	8
2.2.2 Hipótesis específicas	9
2.3 Operacionalización de variables	9
CAPÍTULO III	11
MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	11
3.1 Antecedentes	11
3.2 Generalidades de la zona de estudio	16
3.3 Marco teórico	30
3.3.2 Perforación piloto	31
3.3.3 Agrandamiento del piloto o escariado	32
3.3.4 Aplicaciones del método Raise Boring	32
3.3.5 Características del sistema	32
3.3.6 Partes principales del equipo Raise Boring.	33
3.3.6.1 Conjunto de reductores	33
3.3.6.2 Sistema de sujeción de la columna de barra	33
3.3.6.3 Base y cuerpo principal	34
	1



3.3.6.4	Conjunto eléctrico	34
3.3.6.5	Columnas de perforación	34
3.3.6.6	Escariador cabezal	34
3.3.6.7	Estación de trabajo	34
3.3.6.8	Motor eléctrico	34
3.3.6.9	Aceros de perforación	35
3.3.7	Ventilación de minas	36
3.3.8	Aire de minas	36
3.3.9	Distribución del aire	36
3.3.10	Requerimientos por altura según norma	36
3.3.11	Tipos de ventilación	37
3.3.11.1	Ventilación natural	37
3.3.11.2	Ventilación mecánica.	37
3.4	Marco conceptual	38
CAPÍTULO IV		41
METODOLOGÍA		41
4.1	Tipo y nivel de investigación	41
4.1.1	Tipo de investigación	41
4.1.2	Nivel de investigación	41
4.2	Diseño de la investigación	41
4.3	Descripción ética de la investigación	42
4.4	Población y muestra	42
4.4.1	Población	42
4.4.2	Muestra	42
4.5	Procedimiento	42
4.6	Técnica e instrumentos	43
4.6.1	Técnicas	43
4.6.1.1	Técnica del análisis documental	43
4.6.1.2	Técnica del fichaje	43
4.7	Análisis estadístico	43
4.7.1	Reportes e informes	43
4.7.2	Fichas de investigación	43
CAPÍTULO V		44
RESULTADOS Y DISCUSIONES		44
5.1	Análisis de resultados	44
5.1.1	Estado inicial del sistema de ventilación	44

5.2	Proceso técnico de ejecución del método Raise Boring aplicado a la chimenea 305 de la Unidad Minera Americana	47
5.2.1	Datos de la chimenea 305	49
5.2.2	Condiciones geomecánicas en la chimenea 305	49
5.2.3	Características técnicas del equipo Raise Boring SBM 450	50
5.2.4	Personal involucrado en la construcción de la chimenea 305	51
5.2.5	Evaluación técnica del rendimiento	52
5.2.6	Calidad técnica final de la excavación producida por el método Raise Boring	53
5.2.7	Análisis del circuito de ventilación impelente (insuflado) para la chimenea RB 305	54
5.2.7.1	Aspecto técnico	54
5.2.7.2	Aspecto económico	54
5.2.8	Estado final del sistema de ventilación después de aplicar el método Raise Boring	55
5.2.9	Comparación de resultados antes y después de aplicar el método Raise Boring	56
5.3	Contrastación de hipótesis	58
5.3.1	Hipótesis general	58
5.3.2	Hipótesis específica	58
5.4	Discusión	60
	CAPÍTULO VI	62
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	62
6.1	Conclusiones	62
6.2	Recomendaciones	63
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64
	ANEXOS	69

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 — Operacionalización de variables	10
Tabla 2 — Accesibilidad desde la ciudad de Lima a la Unidad Americana	17
Tabla 3 — Accesibilidad desde la ciudad de Abancay a la Unidad Americana	17
Tabla 4 — Mineralogía del yacimiento	24
Tabla 5 — Sección de galerías por niveles	26
Tabla 6 — Sección del tajo y estabilidad de puentes	29
Tabla 7 — Cálculo de ingreso de caudal de aire en la RP 250 NE	45
Tabla 8 — Cálculo requerimiento de aire en la RP 250 NE	46
Tabla 9 — Resultados de la cobertura de aire en la RP 250 NE antes de la mejora	47
Tabla 10 — Datos de la chimenea 305	49
Tabla 11 — Características técnicas del equipo	50
Tabla 12 — Personal involucrado en la construcción del RB 305	51
Tabla 13 — Evaluación técnica del rendimiento del RB 305	52
Tabla 14 — Calidad final de excavación en RB 305	53
Tabla 15 — Levantamiento de ventilación en labor	56
Tabla 16 — Cobertura de aire	56
Tabla 17 — Cuadro comparativo antes y después de aplicar el método Raise Boring	56
Tabla 18 — Matriz de consistencia	70

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 — Ubicación Unidad Minera Americana	16
Figura 2 — Plano geológico del yacimiento	19
Figura 3 — Sección local del yacimiento	22
Figura 4 — Anticlinal Casapalca areniscas de la formación Casapalca (vista hacia el SW)	23
Figura 5 — Muestra Skarn	25
Figura 6 — Sublevel Stopping	27
Figura 7 — Corte y relleno semimecanizado	28
Figura 8 — Equipo Raise Boring	31
Figura 9 — Perforación piloto	31
Figura 10 — Equipo Raise Boring	32
Figura 11 — Triconos	35
Figura 12 — Escariador	35
Figura 13 — RP 250 profundización	44
Figura 14 — Circuito de ventilación por niveles	48
Figura 15 — Plano geomecánico	49
Figura 16 — Evaluación técnica del rendimiento	52
Figura 17 — Raise Boring 305 profundización	55
Figura 18 — Comparativo antes y después de aplicar el Raise Boring	57
Figura 19 — Topografía nivel 21	71
Figura 20 — Topografía nivel 22	72
Figura 21 — Topografía nivel 23	73
Figura 22 — Cronograma de trabajo previos y perforación en chimenea 305	76
Figura 23 — Precios unitarios por metro lineal de avance en chimenea 305	77
Figura 24 — Objetivos y especificaciones construcción de la cámara	78
Figura 25 — Iluminación y dimensiones de cámara	79
Figura 26 — Loza, poza de bombeo y servicios eléctricos de la cámara	80
Figura 27 — Servicios de agua y aire y pie de Raibor en la cámara	81
Figura 28 — Responsabilidades de gerente obra y operaciones	82
Figura 29 — Objetivos, alcances y referencias del estándar empate y perforación piloto	83

Figura 30 — Especificaciones del estándar empate y perforación piloto	84
Figura 31 — Responsabilidades de la gerencia en el estándar empate y perforación piloto	85
Figura 32 — Revisión y mejoramiento continuo en el estándar de empate y perforación piloto	86
Figura 33 — Objetivos y alcances del estándar de rimado	87
Figura 34 — Empate, rimado, limpieza de rimado	88
Figura 35 — Responsabilidades de la gerencia, ingeniero de seguridad, superviso y trabajadores	89
Figura 36 — Objetivos, alcances y definiciones estándar liberación de cabeza rimadora	90
Figura 37 — Especificaciones estándar liberación de cabeza rimadora	91
Figura 38 — Registro, controles, revisión y mejoramiento continuo estándar liberación de cabeza rimadora	92
Figura 39 — Equipo 43 Raise boring ubicado en cámara 305	93
Figura 40 — Boca de chimenea 305 en forma circular 2.4 de diámetro	94

INTRODUCCIÓN

La minería en Perú es un sector estratégico que representa aproximadamente el 10 % del Producto Interno Bruto (PIB) nacional y constituye el 62 % de las exportaciones peruanas, lo que lo convierte en un pilar fundamental para la economía del país (BCRP, 2024). Este sector, de gran importancia, se enfrenta constantemente a desafíos técnicos y operativos, siendo la ventilación de los espacios subterráneos uno de los aspectos más críticos en las operaciones mineras. Un sistema de ventilación adecuado es esencial para preservar la integridad y protección de los trabajadores, mejorar la eficiencia operativa y cumplir con las normativas de seguridad laboral. La insuficiencia o ineficiencia de estos sistemas puede generar condiciones peligrosas, como la acumulación de gases tóxicos, una ventilación deficiente y una temperatura elevada, esto podría afectar la integridad del personal y ocasionar costos mayores en la operación debido al requerimiento de más equipos de ventilación y extracción de aire.

El estudio ha confirmado que el uso de la tecnología perforación Raise Boring es una solución efectiva para mejorar la ventilación en las minas. Esta tecnología permite una excavación de chimeneas destinadas a ventilación mayor precisión, favoreciendo una adecuada ventilación en labores subterráneas (Cajahunca, 2019). Implementar tecnologías modernas en proyectos mineros, como el método Raise Boring, además de mantener una buena circulación de aire, este también reduce los costos operativos, logrando una disminución de hasta el 40 % en costos de excavación y operativos de las instalaciones mineras. Esta mejora económica se debe a la mayor eficiencia y velocidad con la que se pueden realizar las perforaciones necesarias para los sistemas de ventilación (Zadeh, 2025).

En este contexto, la presente investigación busca analizar el uso del método Raise Boring en la construcción de la chimenea 305 del Nivel 21 al Nivel 23 en la RP 250 NE de la Unidad Minera Americana, ubicada en la Compañía Minera Sobre Andes. Este estudio busca determinar cómo influye la aplicación del método Raise Boring en la mejora del sistema de ventilación en la chimenea 305 del Nivel 21 al Nivel 23 en la RP 250 NE en la Unidad Minera Americana de la Compañía Minera Sobre Andes, optimizando no solo la seguridad y las condiciones laborales de los trabajadores, sino también contribuyendo a la eficiencia operativa de la mina. A través



de la aplicación del método Raise Boring, se pretende lograr una solución técnica y económica que permita enfrentar los desafíos de ventilación de manera efectiva, sostenible y con una inversión optimizada.

El presente estudio está conformado con el siguiente esquema:

Capítulo I. Se presenta planteamiento del problema, descripción del problema, enunciado del problema, los problemas, justificación de la investigación y generalidades de la zona de estudio.

Capítulo II. Objetivo e hipótesis incluye; objetivo general, objetivo específico, hipótesis general, hipótesis específicas y operacionalización de variables.

Capítulo III. Se presenta el marco teórico referencial, este incluye; antecedentes, marco teórico y el marco conceptual.

Capítulo IV. Se describe la metodología empleada donde incluye; tipo de investigación, nivel y diseño, descripción ética de investigación, población, muestra, procedimiento, técnicas e instrumentos, estadístico de la investigación.

Capítulo V. Se presenta los resultados y discusiones, los que incluyen análisis de datos, contrastación de hipótesis y discusión.

Capítulo VI. Se detallan las conclusiones y recomendaciones formuladas del estudio, al final se presentan las referencias bibliográficas y los anexos del estudio.



RESUMEN

El presente trabajo de investigación que lleva como título: “Aplicación del método Raise Boring para la mejora del sistema de ventilación en la chimenea 305 de la Unidad Minera Americana, Compañía Minera Sobre Andes – 2025”, se sustenta el requerimiento de revertir el déficit de aire detectado en labores de profundización en la mina el que tiene un 20% de insuficiencia respecto al caudal requerido, el estudio tuvo como objetivo Determinar la influencia de la aplicación del método Raise Boring en la mejora del sistema de ventilación en la chimenea 305 en la Unidad Minera Americana de la Compañía Minera Sobre Andes - 2025. La metodología de la investigación fue tipo aplicada, de nivel explicativo y de diseño preexperimental; con una población que estuvo conformada por todas las chimeneas construidas con el método Raise Boring en la unidad minera americana. Los resultados que se obtuvieron en el estudio antes de aplicar el método Raise Boring fueron de $326.295 \text{ m}^3/\text{min}$, con una cobertura que cubre el 80% para un caudal requerido de $408.005 \text{ m}^3/\text{min}$, con un déficit de $-81.710 \text{ m}^3/\text{min}$, el proceso constructivo de la chimenea 305 con el método Raise Boring con una longitud de 113 m y un diámetro de 2.40 m, donde la evaluación geomecánica confirmó que la estructura final era segura y apta para operar como chimenea de ventilación; con el método Raise Boring la cobertura llegó a 131%, incrementándose en un 64% más del inicial, generando un caudal de $536.066 \text{ m}^3/\text{min}$. Se concluyó que la implementación de la chimenea 305 con el método Raise Boring permitió mejorar significativamente el flujo de aire, este incremento de manera eficiente el flujo de aire, lo que evidencio que este método constituye una estrategia altamente efectiva y segura para la ventilación en labores mineras profundas, contribuyendo así al cumplimiento de los estándares de ventilación requeridos para ambientes subterráneos.

Palabras clave: *Raise Boring, chimenea, flujo de aire, sistema de ventilación.*



ABSTRACT

This research project, entitled “Application of the Raise Boring Method for the Improvement of the Ventilation System in Shaft 305 of the Americana Mining Unit, Compañía Minera Sobre Andes – 2025,” addresses the need to reverse the air deficit detected in the mine's deepening operations, which has a 20% insufficiency relative to the required airflow. The study aimed to determine the influence of applying the Raise Boring method on improving the ventilation system in Shaft 305 of the Americana Mining Unit of Compañía Minera Sobre Andes - 2025. The research methodology was applied, explanatory, and pre-experimental in design; the population consisted of all shafts constructed using the Raise Boring method in the Americana mining unit. The results obtained in the study before applying the Raise Boring method were 326,295 m³/min, with a coverage of 80% for a required flow rate of 408,005 m³/min, with a deficit of -21,710 m³/min. The construction process of chimney 305 using the Raise Boring method, with a length of 113 m and a diameter of 2.40 m, where the geomechanical evaluation confirmed that the final structure was safe and suitable to operate as a ventilation chimney; with the Raise Boring method, the coverage reached 131%, increasing by 64% more than the initial amount, generating a flow rate of 536,066 m³/min. It was concluded that the implementation of the 305 chimney with the Raise Boring method significantly improved airflow. This efficient increase in airflow demonstrated that this method is a highly effective and safe strategy for ventilation in deep mining operations, thus contributing to compliance with the ventilation standards required for underground environments.

Keywords: *Raise Boring, chimney, airflow, mine ventilation.*



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

En los trabajos subterráneos, la ventilación de minas constituye uno de los sistemas críticos para preservar la vida y la salud de los trabajadores, garantizar la continuidad operativa y minimizar riesgos asociados a gases, polvo en suspensión y temperaturas elevadas. Dentro de la Unidad Minera Americana de la Compañía Minera Sobre Andes, la chimenea 305 forma parte del circuito de ventilación de las labores subterráneas permitiendo la circulación de aire limpio y extracción de aire contaminado. Sin embargo, la profundización de las labores y el incremento de la temperatura, las exigencias sobre el sistema de ventilación se han vuelto mayores, evidenciándose limitaciones en el caudal de aire, en la eficiencia del flujo y en la capacidad de dilución de contaminantes.

Con el avance de la tecnología, el sistema de Raise Boring se presenta como una alternativa técnica y moderna para la construcción y mejoramiento de chimeneas, que permite obtener secciones más regulares, mayor estabilidad geomecánica y condiciones favorables para el paso del aire. Su aplicación en la chimenea 305 en la Unidad Minera Americana de la Compañía Minera Sobre Andes podría contribuir a optimizar el sistema de ventilación, favorecer a las condiciones ambientales adecuadas en el frente de trabajo y reducir la exposición del personal a riesgos ocupacionales relacionados con una ventilación deficiente.

En la actualidad se viene teniendo dificultades con la ventilación minera en avances de profundización que son de suma importancia para darle vida útil a la mina, esta deficiencia trae problemas de gaseamiento, a pesar de que se tiene una ventilación mecánica con un ventilador de 30,000 CFM con inyección limpia de aire por medio de mangas lo que no cubre el requerimiento de aire para una jornada laboral eficiente.



De acuerdo con lo explicado anteriormente es de suma importancia desarrollar el estudio de excavación de la profundización de la chimenea 305 aplicando la tecnología mecanizada Raise Boring.

1.2 Enunciado del problema

1.2.1 Problema general

¿Cómo influye la aplicación del método Raise Boring en la mejora del sistema de ventilación en la chimenea 305 en la Unidad Minera Americana de la Compañía Minera Sobre Andes - 2025?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuál es el estado actual del sistema de ventilación antes de la aplicación del método Raise Boring en la Unidad Minera Americana de la Compañía Minera Sobre Andes – 2025?
- ¿Cuál es el proceso técnico de ejecución del método Raise Boring aplicado a la chimenea 305 de la Unidad Minera Americana de la Compañía Minera Sobre Andes – 2025?
- ¿Cuál es el estado final del sistema de ventilación de la chimenea 305, después de la aplicación del método Raise Boring en la Unidad Minera Americana de Compañía Minera Sobre Andes – 2025?

1.2.3 Justificación de la investigación

- a) **Justificación práctica:** La presente investigación resulta pertinente porque permite evaluar, desde la práctica minera, cómo el método Raise Boring hace posible construir pozos verticales de manera segura y eficiente durante la construcción de chimeneas, un aspecto que cobra especial relevancia en labores de profundización donde las condiciones de trabajo suelen ser más exigentes. Su aplicación no es solo un procedimiento técnico más. Tiene un efecto concreto y medible: incrementa la ventilación en las zonas donde se ejecuta la profundización, mejorando con ello las condiciones ambientales para el personal y los equipos que operan en dichas áreas.

- b) Justificación teórica:** Este estudio encuentra su fundamento en los principios de la ingeniería de ventilación minera, disciplina que ha acompañado históricamente el desarrollo de las operaciones subterráneas, así como en la teoría de construcciones verticales asociada al método Raise Boring. No se trata de una tecnología reciente ni experimental. Por el contrario, ha demostrado a lo largo del tiempo ser altamente eficiente en la construcción de chimeneas destinadas a ventilación, sobre todo por características como su precisión direccional, la seguridad que ofrece durante la perforación y la estabilidad estructural de las labores resultantes. A ello se suma que, al ejecutarse la construcción desde superficie, se reducen de forma considerable las pérdidas por fricción dentro del ducto, lo cual mejora sensiblemente el circuito de aire y contribuye a eliminar el déficit de ventilación que suele presentarse en el interior mina.
- c) Justificación metodológica:** Desde el punto de vista metodológico, la investigación buscó evaluar de manera directa y, sobre todo, medible, el efecto que tiene la aplicación del método Raise Boring sobre el sistema de ventilación de la mina. Para ello no bastaba con una simple observación. Fue necesario adaptar un diseño preexperimental que permitiera comparar, con datos concretos, la situación previa y posterior a la construcción de la chimenea 305, tomando como referencia el comportamiento de los caudales, los niveles de déficit y la cobertura de ventilación, todos ellos expresados de forma cuantificable.
- d) Justificación técnica:** En el plano técnico, el método Raise Boring presenta ventajas notorias frente a otros métodos convencionales, como el Raise Climber, que durante años fue una alternativa habitual en este tipo de labores. Las chimeneas construidas mediante Raise Boring presentan paredes lisas y una sobreexcavación mínima. También se logra mayor precisión en la dirección de avance, lo que en la práctica no es un detalle menor. Estas condiciones, en conjunto, generan menor resistencia al paso del aire a través de la chimenea y, como consecuencia directa, un flujo de ventilación considerablemente más eficiente.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivos de la investigación

2.1.1 Objetivo general

Determinar la influencia de la aplicación del método Raise Boring en la mejora del sistema de ventilación en la chimenea 305 en la Unidad Minera Americana de la Compañía Minera Sobre Andes - 2025.

2.1.2 Objetivos específicos

- Analizar el estado actual del sistema de ventilación antes de la aplicación del método Raise Boring en la Unidad Minera Americana de la Compañía Minera Sobre Andes – 2025.
- Describir el proceso técnico de ejecución del método Raise Boring aplicado a la chimenea 305 de la Unidad Minera Americana de la Compañía Minera Sobre Andes – 2025.
- Cuantificar el estado final del sistema de ventilación de la chimenea 305, después de la aplicación del método Raise Boring en la Unidad Minera Americana de Compañía Minera Sobre Andes – 2025.

2.2 Hipótesis de la investigación

2.2.1 Hipótesis general

La aplicación del método Raise Boring mejora significativamente el sistema de ventilación en la chimenea 305 en la Unidad Minera Americana de la Compañía Minera Sobre Andes - 2025.



2.2.2 Hipótesis específicas

- El estado actual del sistema de ventilación tiene deficiencias antes de la aplicación del método Raise Boring en la Unidad Minera Americana de la Compañía Minera Sobre Andes – 2025.
- El proceso técnico de ejecución del método Raise Boring se relaciona significativamente con la ejecución de la chimenea 305 de la Unidad Minera Americana de la Compañía Minera Sobre Andes – 2025.
- El estado final del sistema de ventilación presenta mejoras significativas en el sistema de ventilación de la chimenea 305, después de la aplicación del método Raise Boring en la Unidad Minera Americana de Compañía Minera Sobre Andes – 2025.

2.3 Operacionalización de variables

2.3.1 Variable independiente

Aplicación del método Raise Boring.

2.3.2 Variable dependiente

Mejora de la ventilación.



Tabla 1 — Operacionalización de variables

Variables	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida
Independiente: Aplicación del método Raise Boring	Clasificación geomecánica	Calidad del macizo rocoso	RMR
	Tiempo de perforación	Tiempo total en construcción.	días
	Sección del Raise Boring	Diámetro y longitud de la chimenea	m
	Proceso constructivo	Programación de actividades	mes
	Costo	Costos de construcción por metro lineal	\$/m
Dependiente: Mejora de la ventilación	Caudal del aire	Caudal igual a velocidad por sección	m ³ /min
	Velocidad flujo de aire	Uso de anemómetro Diámetro	m/s m
	Temperatura	Medición con termómetro	°C
FUENTE: Elaboración propia.			

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

3.1 Antecedentes

3.1.1 Antecedentes internacionales

- a) Medina (2020), realizó un “Estudio comparativo técnico – económico de diseño de chimenea, caso chimenea Mina Pajonales (Manual – Alimak – Raise Boring)”, presentado en la Universidad Andrés Bello en el país Chile, el objetivo general Realizar un estudio comparativo técnico – económico, para obtener la mejor alternativa para la construcción de chimeneas en Mina Pajonales, evaluando las metodologías de los procesos Manual, Alimak y Raise Boring y determinando su impacto en los plazos, costos, riesgos, sustentabilidad y rendimientos de construcción, tuvo como metodología la revisión bibliográfica,, revisión de experiencias nacionales e internacionales, revisión y uso de software computacionales, desarrollo de metodologías manual, alimak, Riase Boring, análisis comparativo técnico – económico de los 3 métodos y análisis específicos de rendimientos y avances específicos para cada obra, tuvo como resultados que en cuanto a la metodología Alimak demoraba 17 días y que la misma longitud el sistema Raise Boring lo hace en 8 días y el costo del Alimak de 2279.43 USD/m y el Raise Boring 2570.43 USD/, llegó a la conclusión que al analizar la técnica y económica de cada una de las opciones de metodologías, se recomienda elegir la metodología Raise Boring, dado que, a pesar de tener un costo un poco más elevado por metro de construcción, cuenta con un menor tiempo de ejecución (Lo cual puede conllevar a un costo más elevado en caso de elegir la metodología Alimak) y aporta un menor riesgo para el personal, en comparación con el método Alimak.
- b) Muñoz (2022), desarrolló el estudio, “Equipos de Excavación Mecanizada en Minería Subterránea”, presentado en la Universidad Autónoma de México, el país de México, en el quinto capítulo de su estudio, realizo una comparación

entre los métodos de excavación para la construcción de pozos verticales: el método convencional (perforación y voladura) y el método mecanizado (equipo tipo Raise Boring Machine) analizando ventajas y desventajas de cada uno de ellos, concluyendo que un equipo tipo RBM puede llegar a ser el doble de costoso, pero debe considerarse que su eficiencia de excavación es del 100%, mientras que el método de P&V tiene una eficiencia variable, pudiendo caer a 50% o menos, lo que significaría un costo mayor al uso de un equipo de excavación mecanizada. Los equipos tipo RBM, no dañan la roca circundante de la excavación, la vibración es mínima y las condiciones de seguridad aumentan.

- c) Yepes (2015), en su artículo “Raise Boring” presentado en la Universidad Politécnica en Valencia, en España, el autor describe el método Raise Boring como un procedimiento mecanizado empleado para la construcción de pozos y chimeneas entre distintos niveles de una mina. Explica que el proceso se desarrolla en dos etapas. Primero se perfora un barreno piloto; luego, este se ensancha mediante un escariador. Gracias a esta secuencia, resulta posible ejecutar excavaciones tanto verticales como inclinadas con una precisión que difícilmente se alcanza con otros métodos. Entre las principales ventajas del método, el autor destaca varias. Por un lado, se incrementa notablemente la seguridad operativa durante la excavación. Por otro, la productividad supera con claridad a la de los métodos convencionales que emplean explosivos. A esto se suma que la sobreexcavación se reduce de forma considerable, y las paredes resultantes presentan un acabado mucho más uniforme. No todo son ventajas, sin embargo. El autor también señala algunas limitaciones importantes. La inversión inicial requerida es alta, lo que puede restringir su aplicación en operaciones de menor escala. Se necesita, además, personal especializado para su correcta operación. Y en macizos rocosos de mala calidad, su aplicación se vuelve considerablemente más difícil. En conjunto, este artículo aporta el sustento técnico necesario para comprender las características y el desempeño del método Raise Boring. Constituye, así, una base sólida para la presente investigación, orientada a analizar su aplicación en la mejora del sistema de ventilación.



d) Vélchez (2015), realizó su estudio en "Ejecución de chimeneas mediante sistema Alimak y Raise Boring", presentado en la Universidad Técnica Federico Santa María en Chile, describe dos métodos mecanizados para la construcción de chimeneas: el sistema ALIMAK y el Raise Borer. El primero consiste en una plataforma trepadora que asciende por una cremallera, ejecutando un ciclo de perforación, voladura, ventilación y limpieza; se usa desde 1957 y resulta útil cuando no hay nivel de acceso superior disponible. El Raise Borer, en cambio, perfora primero un tiro piloto descendente y luego un escariador asciende excavando la roca por corte y cizalle hasta el diámetro final. A diferencia del ALIMAK, requiere dos frentes de trabajo. El autor destaca como ventajas su alta seguridad —el personal no tiene contacto con el frente—, la ausencia de riesgos por explosivos, y su mayor rapidez y productividad. Cita como ejemplo el pique de Punta del Cobre, de 381 metros de longitud, terminado en 112 días. Como limitaciones, señala la necesidad de un nivel superior para el montaje, la alta inversión requerida y las dificultades en rocas de mala calidad.

3.1.2 Antecedentes nacionales

- a) Suvizarreta (2023), realizó el estudio “Diseño y construcción de la Chimenea – 017, para mejorar la ventilación en la rampa 440 de la Compañía Macdesa - Arequipa”, tesis presentada a la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, en cusco, el objetivo principal era determinar los parámetros de diseño de la chimenea 017 para mejorar la ventilación en la zona de depresión de la rampa 440 de la empresa Macdesa-Arequipa, su metodología que utilizó fue de tipo aplicada, de nivel descriptivo explicativo, teniendo como resultado que el escenario A-2 era el más favorable ya que en este escenario el aire mejoró en un 118.56% y el costo se redujo a 6.18 \$/TM, también llegó a la conclusión que tras realizar la chimenea 017 la necesidad de aire quedó recubierta en un 105.35%.
- b) Cajahuanca (2019), efectuó un trabajo de “Influencia del Sistema Raise Boring en la Ventilación de la Zona I-B en el nivel 4530 de la Veta Alexia en la Unidad Minera Arcata – Cia Minera Ares S.A.C.”, presentado en la Universidad Nacional del Centro del Perú en Huancayo, tuvo como objetivo



principal determinar la influencia del sistema Raise Boring en la ventilación de la Zona I-B en el Nivel 4530 de la Veta Alexia en la Mina Arcata de Cia Minera Ares S.A.C., tuvo como metodología la de tipo aplicada, de nivel descriptivo comparativo, tuvo como conclusión que el sistema Raise Boring influye positivamente en la ventilación en la Zona I-B y disminuye los costos de ventilación.

- c) Camargo y Segura (2023), realizó su tesis “Desarrollo de una Chimenea de Ventilación en una Mina Ubicada al Centro del Perú Aplicando el sistema Raise Boring”, presentado en la Pontificia Universidad Católica del Perú, en Lima, tuvo como objetivo general desarrollar la ejecución de una chimenea de ventilación en una mina ubicada al centro del Perú utilizando el sistema de perforación Raise Boring, la metodóloga que aplicaron fue de tipo aplicada, de nivel explicativo de diseño experimental, tuvieron como resultados que en el nivel 20 tras la conexión de la chimenea RB 659 hubo mejoras en el caudal del aire, temperatura buenas para el trabajador, así mismo la ejecución de la chimenea solo fue de 15 días con un costo de 143, 075 USD, llegando a la conclusión que el sistema Raise Boring es 57 % mejor a otros métodos convencionales.
- d) Ccanque (2023), en el estudio “Optimización del Sistema de Ventilación a corto plazo mediante la construcción de Raise Boring - Cia Minera Alpayana S.A. - Lima.”, presentado Cia Minera Alpayana S.A. en Lima, tuvo como objetivo general el de establecer un nuevo sistema de ventilación para expulsar el aire viciado de las labores, y el costo de inversión por la ejecución e implementación de la chimenea RB 338 en la Cia Minera Alpayana S.A – Lima., aplico la metodología de tipo aplicada de nivel descriptivo, teniendo como resultados de una cobertura de aire de inicialmente de 143,106.73 CFM con una cobertura de 89 % a una final de 98.7 % con un déficit de 19,427.20 CFM del aire, concluyendo que el sistema de ventilación presenta mejoras significativas a mediano y largo plazo, así mismo la mejora del funcionamiento de equipo y exposición al personal a los gases.

3.1.3 Antecedentes regionales

- a) Dante (2016), realizó el estudio en “Optimización de las labores de servicios con la implementación con equipos Raise Boring para el incremento de la productividad de la E.E. Etramin S.R.L. en la unidad operativa San Cristóbal de Bateas (Caylloma -Arequipa) – 2016”, presentado en la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, El objetivo general de este estudio fue demostrar la optimización del trabajo de servicio con perforación de pozos verticales (RB) para mejorar las condiciones ambientales del entorno de trabajo y la productividad de la Unidad Operativa San Cristóbal de Bateas. La metodología empleada fue descriptiva-explicativa-comparativa. La conclusión fue que la alternativa propuesta mejora el sistema de ventilación, ya que las chimeneas de perforación de pozos verticales (RB) permiten una rápida evacuación de los gases de voladura, mejorando las condiciones de trabajo en la galería y aumentando las horas netas de trabajo en un turno de 8 horas de 6,0 a 7,5.
- b) Vera (2019), en su trabajo "Implementación y simulación de un sistema de ventilación utilizando el software VentSim Visual en la Mina San Valentín S.A. -Curahuasi - Apurímac - 2019", el estudio fue presentado en la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, tuvo como objetivo implementar el sistema de ventilación de la mina San Valentín S.A. (Curahuasi, Apurímac, 2019) y simularlo mediante el software VentSim Visual. La metodología empleada fue descriptiva-correlativa. Los resultados mostraron un caudal volumétrico de aire natural de 4237,760 pies cúbicos por minuto (cfm), el cual no cumple con las especificaciones requeridas.



3.2.1.2 Acceso

La Unidad Americana tiene los siguientes accesos favorables, cuenta con diferentes rutas de comunicación permitiendo el transporte tanto de personal como de maquinarias, y tenemos los siguientes.

Tabla 2 — Accesibilidad desde la ciudad de Lima a la Unidad Americana

Lugar	Carretera	Distancia	Tiempo
Lima - Unidad americana	Vía (Asfaltada)	130 km	3.5 horas
Huancayo – Oroya- Unidad americana	Vía (Asfaltada)	100 km	3 horas
FUENTE: Elaboración propia.			

Tabla 3 — Accesibilidad desde la ciudad de Abancay a la Unidad Americana

Lugar	Carretera	Distancia	Tiempo
Abancay - Andahuaylas	Vía (Asfaltada)	118 km	2 horas
Andahuaylas - Ayacucho	Vía (Asfaltada)	331 km	8 horas
Ayacucho - Huancayo	Vía (Asfaltada)	258 km	6 horas
Huancayo – La Oroya	Carretera central	114 km	2 horas 25 minutos
La Oroya - Unida Americana	Carretera central	65 km	1 hora 45 minutos
Total	Vía Asfaltada	886 km	20 horas 10 minutos
FUENTE: Elaboración propia.			

3.2.2 Contexto geológico

3.2.2.1 Geología regional

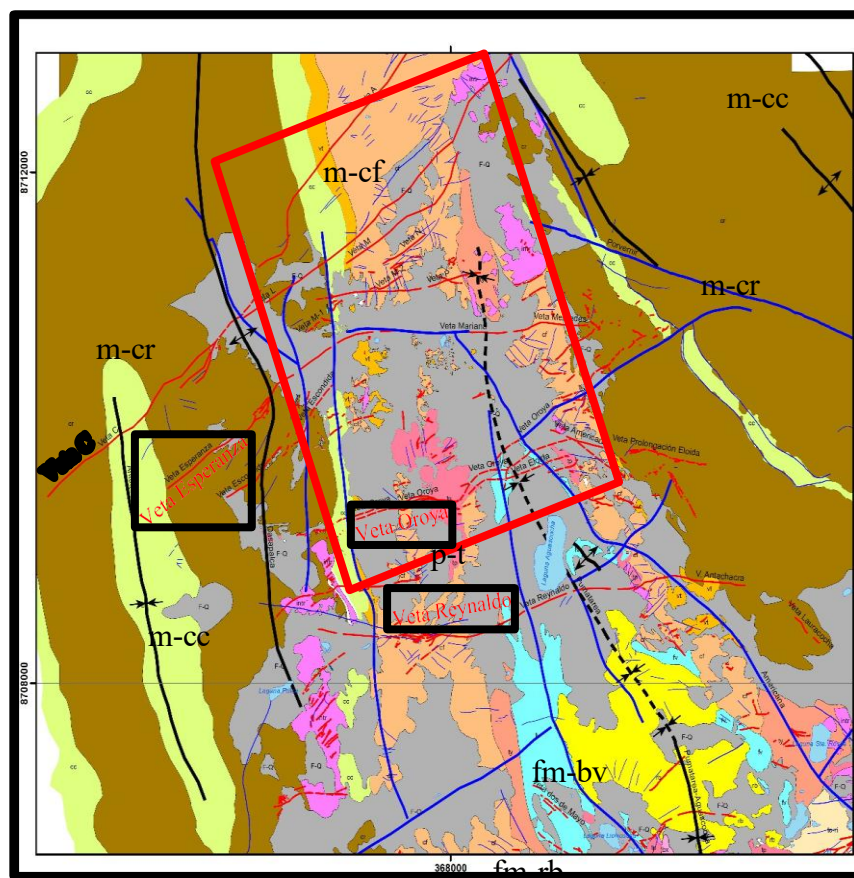
Las rocas más antiguas en la región son del Devónico (Harrison 1943), consistente en lutitas pizarrosas, filitas negruzcas y areniscas del Grupo Excelsior estas han sido afectadas por la orogenia Hercínica, esta serie subyace a la serie clástica (areniscas, conglomerados, y brechas volcánicas) del Carbonífero, del Grupo Mitu en disconformidad, aflorando con mayor amplitud en el Domo Yauli-San Cristobal, la serie de calizas con intercalaciones de margas e intercalaciones con areniscas calcáreas, lutitas del Triásico-Jurásico, pertenecientes al grupo Pucará.

La serie clástica del Cretáceo inferior que sobre yace al Grupo Pucará de manera concordante pertenece al Grupo Goyllarisquizga compuesto por intercalaciones de cuarcitas, lutitas grises y rojizas, aflorando en el sector NE de Morococha, las secuencias calcáreas del Cretáceo Superior afloran hacia norte de Morococha en el flanco occidental de anticlinal Chumpe hasta Ticlio, pertenecen a las formaciones Chulec, Pariatambo y Jumasha.

Al finalizar el Cretáceo, producto de la tectónica Inca, se genera cuencas intramontanas a lo largo de la cordillera occidental, que el sector de Casapalca hay una gruesa exposición de arenisca rojizas con horizontes de conglomerados, pertenecientes a la Formación Casapalca, esta secuencia sedimentaria está cubierta por una serie de vulcanismo distinguiéndose tres facies principalmente, la primera está compuesta de aglomerados con matriz areno-limosa, tobas, brechas volcánicas conocidas como volcánicos Tablachaca, la segunda facie Carlos Francisco predomina derrames lávicos andesíticos de textura porfiritica y afanítica, con intercalación con brechas volcánicas es donde se puede apreciar cuerpos porfiriticos de textura hipoabisal, finalmente la tercera Volcánicos Tablacha está compuesta de tufos rojizos, IapiIllis.

Las formaciones Bellavista es una secuencia de calizas margosas e intercalaciones de tobas que sobreyace de manera concordante a los volcánicos Yauliyacu, a su vez esta subyace a la formación Rio Blanco

compuesta por tobas, areniscas tobáceas (COMPAÑÍA MINERA ALPAYANA S.A., 2024).



FUENTE: Compañía Minera sobre Andes, 2024

Figura 2 — Plano geológico del yacimiento

3.2.2.2 Geología local

Las areniscas de la Formación Casapalca han sido plegadas por la tectónica Inca y Qechua, permitiendo el emplazamiento del pórfido diorítico Taruca y los stocks de Diorita y Granodiorita Yanañao en el eje del sinclinal y Aguascocha-Pomatarea cruzando las secuencias sedimentaria y volcánica.

- a) **Formación Río Blanco (fm-rb)** (más de 50 metros). Consiste en rocas volcánicas riolíticas (tobas) con algunos filones riolíticos; en la parte inferior se encuentran capas de caliza.
- b) **Formación Jumasha (fm-J)** (450 a 600 m)

Esta formación las rocas no afloran a superficie en el área de Casapalca, se interpreta que esta roca debería estar en la cota de 3100 m, estas estructuras, compuestas de calizas grises con estratos de lutita intercalados, se observan solo esporádicamente a lo largo del túnel de Graton (véase la figura 2). Los estudios geológicos sugieren que las rocas pertenecen a la Formación Jumasha. Estas rocas, que atraviesa el túnel de Graton, se encuentran bajo una secuencia de estratos rojos y forman parte del anticlinal de Casapalca. Dentro del túnel, estas calizas se han alterado a skarn, el cual está atravesado por finas vetas de grosularia, epidota, tremolita, calcita, cuarzo y sulfuros diseminados. Los sulfuros aparecen junto con cuarcita, calcita y pirita como ganga. También se ha encontrado esfalerita con numerosas exsoluciones de calcopirita y tetraedrita.

- c) **Formación Bellavista (fm-bv)** (600 a 900 m). Consiste en capas de piedra caliza gris con algunas inclusiones de piedra caliza gris oscura con nódulos de sílice, sílex volcánico y arcillas de esquistos rojizo, y aflora a una altitud de 4800 metros sobre el nivel del mar.

- d) **Formación Casapalca (fm-Ca)** (1,500 a 1,600m).

Esta formación es el afloramiento más antiguo del distrito y forma parte del anticlinal de Casapalca. Las rocas son de origen continental y se subdividen localmente en dos estratos: Estratos Rojos (m-cr). Este estrato se caracteriza por su color rojizo y consta de capas alternas de arenisca y lutita con matriz calcárea. El color rojizo se debe a finas inclusiones de hematita. Las areniscas son de grano fino a grueso y a menudo presentan estratificación cruzada débil. Este estrato tiene más de 1300 metros de espesor.

Miembro El Carmen (m-cc) consta de capas alternas de conglomerados, areniscas y calizas. Los conglomerados están compuestos de guijarros y grava de caliza y arenisca con cuarzo en una matriz arenosa-arcillosa con cemento calcáreo. Su espesor varía entre 50 y más de 300 metros.

- e) **Formación Carlos Francisco (fm-cf)** (900 a 2,350 m). Sobre las rocas sedimentarias se encuentra una gruesa secuencia de rocas volcánicas andesíticas, la llamada Formación Carlos Francisco, que se divide en tres partes:

La parte volcánica de Tablachaca (m-vt) se sitúa sobre la parte de Carmen, está compuesta por tobas, brechas, conglomerados, aglomerados y porfiritas efusivas y tiene un espesor de 100 a 750 metros.

Miembro Volcánico Carlos Francisco (m-cf) consta de flujos masivos de andesita y brechas volcánicas. Las brechas están compuestas por fragmentos porfídicos angulares de color verde, incrustados en una matriz volcánica porfídica rojiza. Estas rocas se intercalan con andesitas porfídicas, cuyo color varía del gris oscuro al verde. Se observan fenocristales de hornblenda de forma localizada, y los fenocristales de feldespato son prominentes y se encuentran alterados a clorita y calcita. El espesor del miembro oscila entre 400 y 1100 metros.

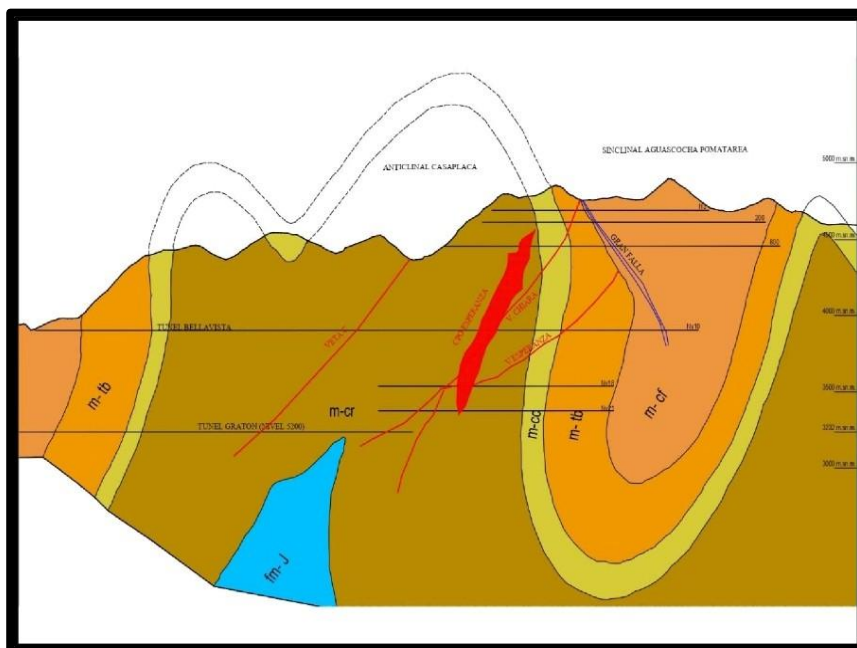
Miembro Volcánico Yauliyacu (m-ty) (Yauliyacu Tuffs). Consiste en toba rojiza de prano lino, y tiene un espesor de 400 a 500 metros.

f) **Rocas Intrusivas**

Los afloramientos rocosos intrusivos del distrito de Casapalca son pequeños, químicamente similares, pero difieren en textura e intensidad de alteración, presentando una composición intermedia. McKinstry y Noble afirman que los stocks y lacolitos son más ácidos y de grano más grueso, mientras que los sills y diques son más básicos y de grano más fino.

Algunas de estas rocas están atravesadas por fracturas en el sistema de vetas de Io, lo que sugiere que estas rocas intrusivas datan del período de premineralización.

- g) **Pórfido taruca (p-t)** Aflora en cerro Taruca un stock de forma elongada con dirección Norte—Sur, textura porfirítica, grano medio y color verde grisáceo, los fenocristales de feldespato son blancos a grisáceos, también hay cristales elongados de hornblenda dispersos y poco cuarzo, incluidos en una matriz afanítica color gris. Estas rocas pueden ser Llamadas Andesitas Porfíricas (Compañía Minera Alpayana S.A., 2024).



FUENTE: Compañía Minera sobre Andes, 2024

Figura 3 — Sección local del yacimiento

3.2.2.3 Geología estructural

a) Plegamiento y fracturamiento

Las unidades de estratigráficas son intensamente plegadas, estas se encuentran dentro del Rumbo promedio N20°W, paralelas al Rumbo general de los Andes. Las estructuras geológicas son más importantes que el Anticlinal Casapalca y el Sinclinal Aguascocha-Pomatarea, que presentan capas menores en sus flancos

La fractura existe en la mina guarda relación con el Anticlinal Casapalca y Sinclinal Aguascocha—Pomatarea; El rumbo de las fracturas varió de un medio a un solo estratigráfico sobre otro, generalmente presentes en los rumbos N30°E y N90°E con buzamientos subverticales.

El sistema de fracturación puede estar conectado a una intervención profunda, conclusión sustentada por los cuerpos de skarn en la formación Casapalca y por el skarn del Túnel Graton.



FUENTE: Compañía Minera sobre Andes, 2024

Figura 4 — Anticlinal Casapalca areniscas de la formación Casapalca (vista hacia el SW)

b) Mineralogía y paragénesis

La mineralogía de la Unidad Americana es bastante simple. Los minerales de mena más importantes son la esfalerita con su variedad marmatita, la galena, la tetraedrita y la calcopirita. Los minerales de ganga son la pirita, el cuarzo y los carbonatos (calcita, calcita con manganeso y rodocrosita). Otros minerales raros incluyen oropimente, rejalgar, argentita, estibina, rodonita, barita, bornita, arsenopirita, polibasita, boulangerita, jamesanita, bournonita, pirargirita (o rosicler) y geocronita. La secuencia deposicional mineral determinada es la siguiente: cuarzo, calcita, calcita con manganeso y rodocrosita (el cuarzo posiblemente sigue a los carbonatos).

Tabla 4 — Mineralogía del yacimiento

Ítem	Mineral	Fórmula química
1	Pirita	FeS ₂
2	Esfalerita	ZnS
3	Galena	PbS
4	Tetraedrita	Cu ₁₂ Sb ₄ S ₁₃
5	Calcopirita	CuFeS ₂
6	Cuarzo	SiO ₂
7	Calcopirita	CuFeS ₂
8	Bournonita	PbCuSbS ₃
9	Cuarzo	SiO ₂
10	Calcita	CaCO ₃

FUENTE: Elaboración propia.

Basándose en observaciones de la superposición de fases minerales en geodas de las vetas dentro de las formaciones Casapalca y Carlos Francisco, Rye y Sawkins identificaron tres etapas de relleno de vetas: la etapa principal de sulfuros, que consiste en minerales de grano grueso, sulfuros masivos y cuarzo en áreas sin drusas ni cavidades, y grandes cristales de esfalerita y cuarzo en drusas que constituyen más del 80% del mineral; la etapa tardía de sulfosales de sulfuro, que consiste en minerales de grano fino de esfalerita, palenita y cuarzo; y la etapa posterior a los sulfuros, representada por la formación de calcita.

c) Alteración hidrotermal

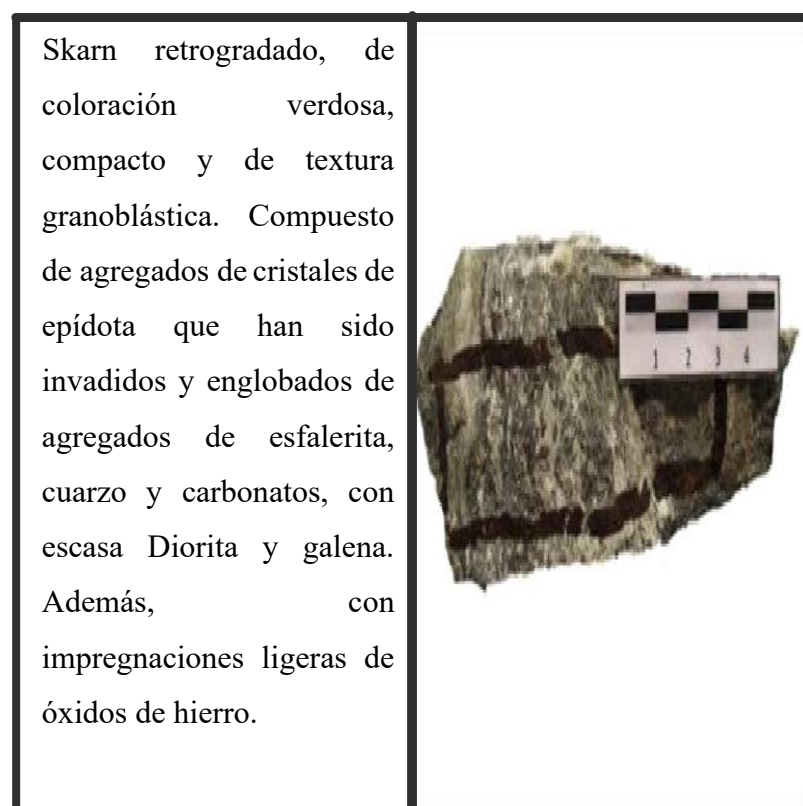
La alteración hidrotermal de la roca huésped sigue la secuencia habitual: desde la propilitización a cierta distancia de las vetas, pasando por la piritización y la sericitización, hasta la silicificación cerca de las vetas. En casos de silicificación severa, generalmente ya no es posible determinar el tipo de roca original.

En las rocas volcánicas, las zonas de mayor alteración (cerca de la veta) presentan a la roca de color gris claro conformada por cuarzo, pirita y feldespatos alterados a sericita. Los ferromagnesianos son alterados a clorita y epidota con presencia de pirita.

Los estratos de roca roja y los conglomerados en la zona central de la mina presentan una alteración significativa. En esta zona, la alteración hidrotermal consiste en metasomatismo de skarn (hornfels), seguido de epidotización y piritización, que se extienden a lo largo de varias decenas de metros. La pirita se presenta en cristales cúbicos y vetas delgadas. En los estratos de roca roja, el primer signo de alteración es la decoloración (Compañía Minera Alpayana S.A., 2024).

d) Skarnización

En los estratos rojos y conglomerados con matriz calcárea, la roca carbonatada fue reemplazada por minerales calcosilicatados, dando lugar a la formación de skarn (hornfels). El calcosilicato más común es la epidota, que se presenta en bandas paralelas a la estratificación. El skarn de Casapalca muestra una zonación característica desde los cuerpos mineralizados hacia el exterior: 1) zona de epidota, 2) zona de hornfels y pirita, y 3) estratos rojos. (Compañía Minera Alpayana S.A., 2024).



FUENTE: Compañía Minera sobre Andes, 2024

Figura 5 — Muestra Skarn

3.2.3 Característica de las galerías

Son excavaciones subterráneas de desarrollo horizontal o ligeramente inclinadas que permiten el acceso a las labores de explotación, el transporte de mineral, personal, equipos y servicios, además de facilitar la circulación del aire dentro de la mina para garantizar condiciones seguras de operación.

Por otro lado la Unida Minera Americana es un yacimiento polimetálico cuyas reservas minerales se encuentran en vetas y en cuerpos, con mineralogía simple, los principales minerales son: esfalerita, galena, tetraedrita/freibergita, calcopirita, pirita, cuarzo, calcita y rodocrosita.

La Rampa 250NE es de 61m en el nivel 22, su tipo de sostenimiento: Shotcrete o concreto lanzado es un método de sostenimiento que consiste en proyectar concreto a alta presión sobre la superficie de la excavación, formando una capa resistente que estabiliza el macizo rocoso, reduce el riesgo de caída de rocas y prolonga la vida útil de la labor minera.

3.2.3.1 Sección de las galerías por niveles

Se tiene las siguientes

Tabla 5 — Sección de galerías por niveles

NIVEL	LABOR	ANCHO	ALTURA
21	XC 400	5.20	4.10
	CAM 330 NE	4	4.086
	CAM 304 NE	4.5	4.07
22	CAM 265 NW	4.32	4.34
	CAM 250 NW	5.20	4.13
	(+)RP 251 NE	3.78	3.67
	RP 250 NE	5.11	4.77
23	CAM 360 S	4.28	3.76
	BP 245 NE	4.35	3.86
	XC 837 NW	3.6	3.57
	XC 835 NW	3.86	4.22
FUENTE: Elaboración propia.			

3.2.4 Método de explotación Unidad Minera Americana

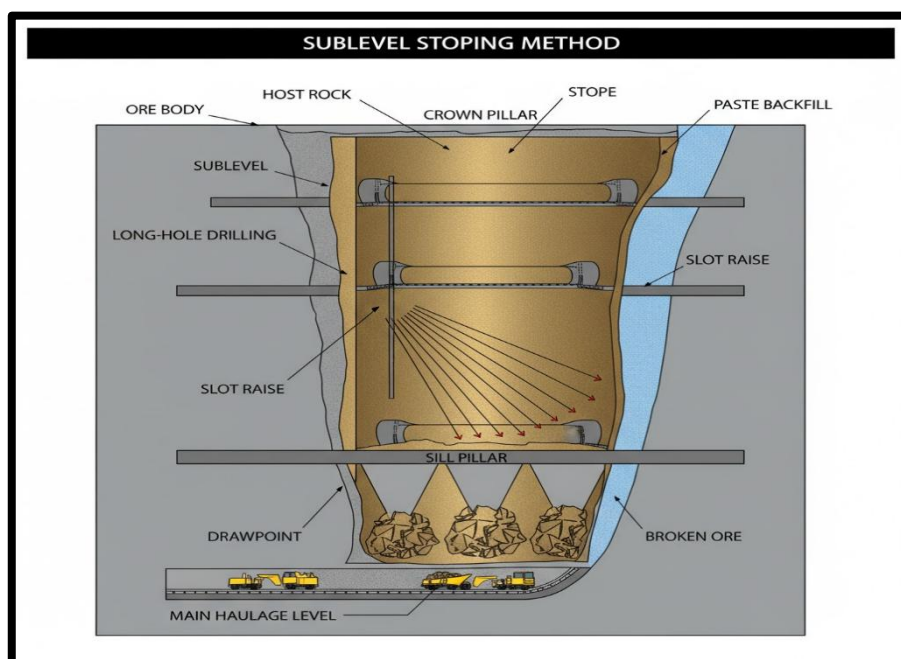
Actualmente la unidad minera americana tiene como método de explotación los siguientes:



- a) Sublevel Stoping.
- b) Corte y relleno ascendente semimecanizado.
- c) Corte y relleno ascendente convencional.

3.2.4.1 Sublevel Stoping

Este método de explotación consiste en producir mineral en grandes volúmenes mediante la perforación de taladros largos mediante subniveles desarrollados en cuerpos con contenido de mineral económico, básicamente se basa en fragmentar el mineral utilizando taladros paralelos lo que permite una extracción masiva sin intervención directa del personal. Para Hustrulid y Bullock (2001), este método es muy efectivo para yacimientos de tipo de roca competente ya que la estabilidad de la bóveda depende de la resistencia del macizo rocoso para este tipo de diseño se tiene en consideración criterios de geomecánica como los propuso Mathews et al. (1981), los que consideraron factores como el índice Q, geometría de la bóveda y la resistencia del macizo rocoso a la estabilidad. Así mismo el método Sublevel Stoping genera elevadas tasas de producción y menores costos operativos ya que se mecaniza completamente y no requiere relleno.

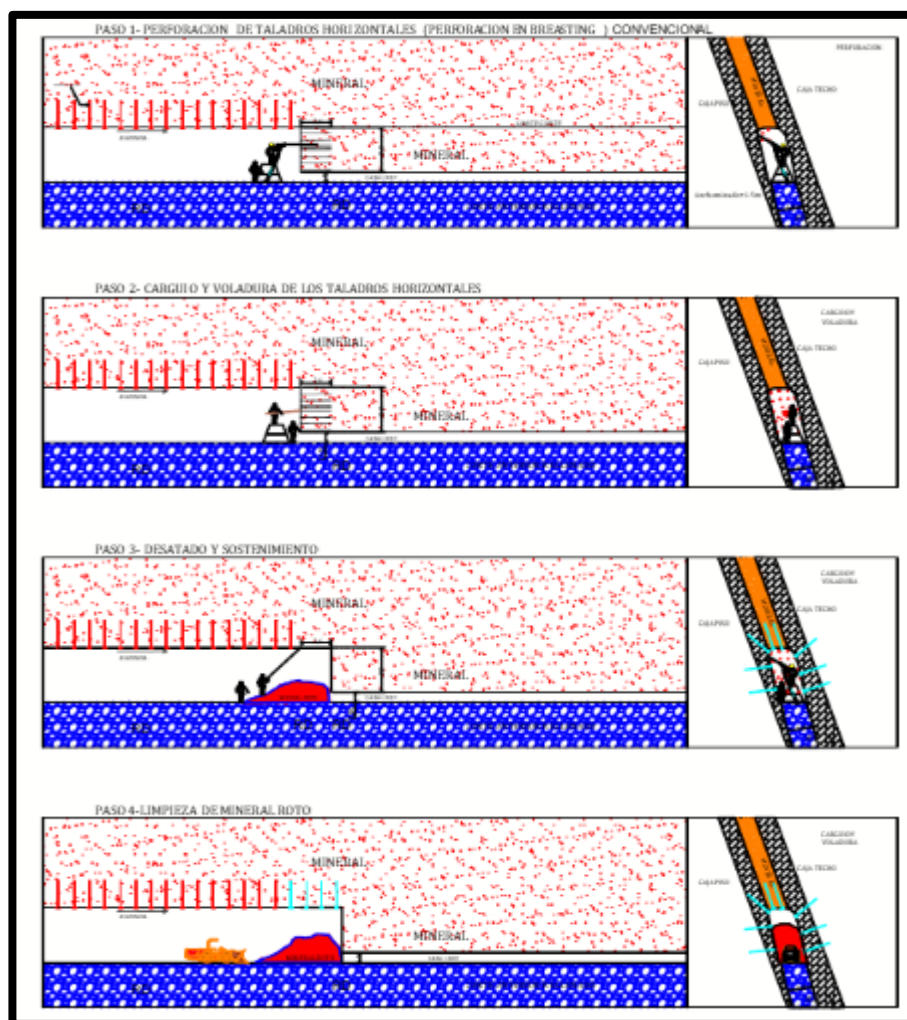


FUENTE: Hustrulid Bullock, 2001

Figura 6 — Sublevel Stopping

3.2.4.2 Corte y relleno ascendente semimecanizado

Este método de explotación de corte y relleno ascendente semimecanizado es realizado mediante la extracción de mineral de corte horizontal que se avanza hacia arriba, para esto se utiliza equipos mecanizados como scoop, jumbos hidráulicos, winche, es así que este método se vuelve selectivo y seguro. Para (Matos, 2022), menciona que el método incrementa la productividad porque reduce el trabajo físico del personal que labora en la explotación, según (Torres, 2019) menciona que este enfoque semimecanizado controla la dilución y también es ideal para vetas angostas.



FUENTE: Compañía Minera sobre Andes, 2024

Figura 7 — Corte y relleno semimecanizado

3.2.4.3 Corte y relleno ascendente convencional

El método de explotación de corte y relleno ascendente convencional consiste en la explotación secuencial del mineral mediante tajadas horizontales excavadas desde la base hacia la parte superior del block mineralizado, donde las operaciones se realizan principalmente de manera manual con equipos de perforación Jack leg. Para Hustrulid y Bullock (2001), es un método muy selectivo en minería subterránea permitiendo disminuir la dilución.

3.2.4.4 Características operacionales y capacidad de producción por nivel

Tabla 6 — Sección del tajo y estabilidad de puentes

Ancho de tajeo (m)	DE-II			DE-III A/IIIB		
	Puente 8 m	Puente 10 m	Puente 15 m	Puente 8 m	Puente 10 m	Puente 15 m
10 – 15	Estable hasta 80 m de longitud	Estable	Estable	Estable hasta 80 m de longitud	Estable	Estable
16 – 30	Inestable	Estable hasta 80 m de longitud	Estable	Inestable	Estable hasta 50 m de longitud	Estable hasta 50 m de longitud
31 – 50	Inestable	Estable hasta 40 m de longitud	Estable hasta 50 m de longitud	Inestable	Estable hasta 40 m de longitud	Estable hasta 50 m de longitud
FUENTE: Elaboración propia.						

En la Tabla 6 se muestra que para el caso de cuerpos con anchos entre 5 a 10 m se debe considerar alturas de puentes entre 5 a 6 m, así mismo los pilares de buzamiento serán considerados también a una distancia no mayor a 40 m.

En el caso de la zona de Vetos y Cuerpos en rocas de calidad DE-III A y DE-III B, la altura de pilares puente varían entre 4 a 5 m para tajeos con anchos de minado desde 2 a 5 m. De modo puntual, se puede apreciar que, en tramos locales la estructura presenta hasta 7 m de

potencia. Además, durante el minado se deja algunos pilares de buzamiento distantes a no mayor de 40 m. Encima del pilar puente, el tajeo puede estar relleno o no estarlo, siendo la condición más favorable que se encuentre relleno.

En las estructuras de vetas, durante el minado es posible considerar pilares cúbicos intermedios operativos de sección de 4 m x 4 m con el fin de evitar posibles descajes que pueden apreciarse de modo local.

Para rocas de calidad DE-IVA y DE-IVB, en la zona de Vetos (Esperanza y Oroya) la altura de pilares puente varían también entre 4 a 5 m para tajeos con anchos de minado desde 3 a 4 m (como en el caso de paneleo o “drift and fill”), pero en este caso se utiliza sostenimiento pasivo con cuadros de madera debajo de los pilares puente. La perforación en este caso se realiza en breasting.

Actualmente, la distancia entre niveles principales varía entre 60 a 70 m, donde se dejan los pilares puentes según las alturas que correspondan. En dicho sentido, estos puentes forman parte importante del sostenimiento global que requiere la mina como parte del minado en profundización, donde se ha verificado que dicha distancia actualmente es adecuada, sugiriendo que se deben mantener dichas distancias y en el futuro estas distancias serán disminuidas según las futuras evaluaciones lo determinen.

Bajo estas condiciones operacionales el nivel 21A tiene una diaria de 1300 toneladas con el método SLS, mientras que para el Nivel 23 si tiene una producción diaria de 1700 toneladas por día también producidas por el método SLS.

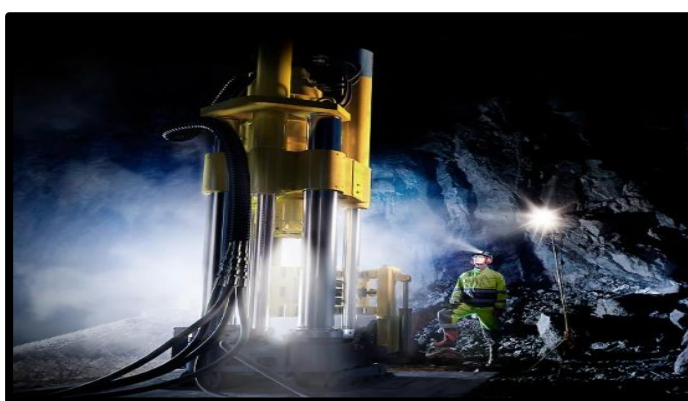
3.3 Marco teórico

3.3.1 Método Raise Boring

El método usa esencialmente una máquina electrohidráulica y su rotación es generada por un motor eléctrico y el empuje de la máquina es generado por bombas hidráulicas que accionan cilindros hidráulicos. El proceso consiste en perforar, bajar e inyectar material de prueba desde una superficie superior, donde



está instalada la máquina, hasta un nivel inferior. Luego, el escariador se conecta en la parte inferior y avanza hacia arriba, cortando y cizallando el pozo hasta el diámetro deseado. Dependiendo de las características de la máquina, el motor eléctrico puede tener un rango de potencia de entre 150 y 500 hp. Este rango de potencia depende directamente del diámetro final del escariador y longitud de pozo o foso. Este sistema de construcción de pozos requiere dos superficies para el trabajo: la primera en la parte superior que es el comienzo de la excavación y otra parte inferior al final de la excavación. Por lo tanto, el método es adecuado para trabajos de excavación dentro de la mina entre dos túneles o desde la superficie hasta un túnel dentro de la mina (Aguila, et al. 2016).

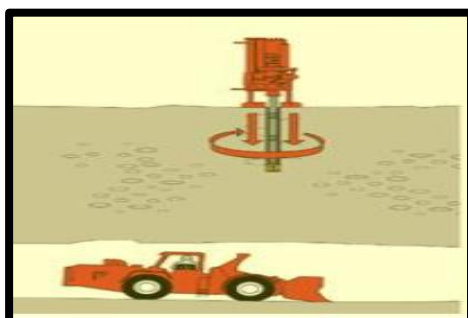


FUENTE: Tecnología minera, 2024

Figura 8 — Equipo Raise Boring

3.3.2 Perforación piloto

La perforación es desarrollada en pendiente descendente, vertical o sesgada, para lo que se usa una broca tricónica con cojinetes sellados como herramienta de corte. La perforación se hace en avance y se logra añadiendo varillas en sarta donde se perfora, esta es estable mediante estabilizadores piloto. Los recortes son extraídos a través del espacio anular entre las paredes del pozo con la sarta de perforación, utilizando agua a presión impulsada por bombas con potencias de entre 37 y 50 kW (Aguila et al., 2016).

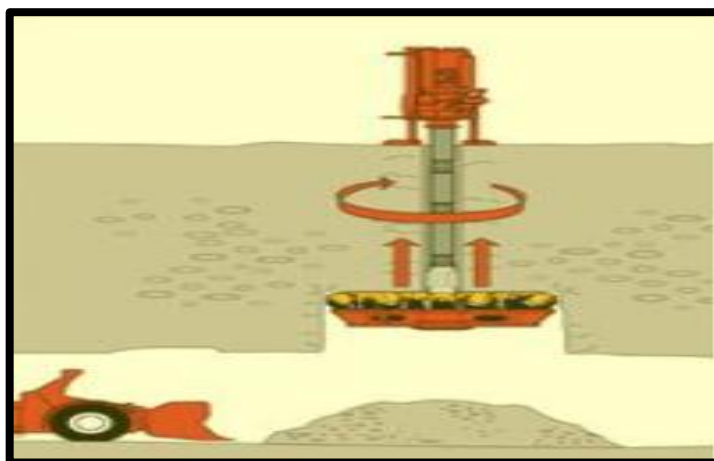


FUENTE: Aguila, 2016

Figura 9 — Perforación piloto

3.3.3 Agrandamiento del piloto o escariado

Realizado la perforación del pozo piloto y retirada la broca tricónica, el cabezal del escariador, o el escariador equipado con herramientas de corte se conecta al túnel de la mina donde se perforó el pozo piloto. El escariador asciende, cortando y cizallando la roca hasta obtener el ancho final de la chimenea. Normalmente, el empuje durante el proceso en el escariado es aproximadamente cinco veces mayor que en el pozo piloto (Aguila et al., 2016). El tiempo de escariado y la longitud final de la excavación constituyen parámetros operativos que permiten evaluar el desempeño del proceso de construcción mediante Raise Boring que son indispensables, estas son velocidad de penetración, disponibilidad mecánica, costo por metro lineal construido, estos KPIs permiten evaluar la eficiencia en función a la resistencia del macizo rocoso.



FUENTE: Tecnología Minera, 2024

Figura 10 — Equipo Raise Boring

3.3.4 Aplicaciones del método Raise Boring

Tiene aplicaciones con gran éxito en chimeneas de ventilación al dejar paredes lisas lo que permite circular más flujo de aire, también se usa como echadero de minerales ya que las paredes lisas ayudan al mineral que se desplaza fácilmente aumentando la eficiencia y también en chimeneas de servicios ya que son seguras y tienen estabilidad en la roca (Aguila et al., 2016).

3.3.5 Características del sistema

Según departamento técnico (Pedraplus, 2015), se tiene las siguientes características:

- **Seguridad:** Elimina los riesgos que se asocian a la ocurrencia de mano de obra enfocada en las excavaciones verticales.
- **Costo efectivo:** Elimina personal calificado en los trabajos perforación en pozos.
- **Rapidez:** El avance de su sistema es veloz y continuo eliminando tiempo que no producen.
- **Paredes autosostenidas y suaves:** La roca no es afectada por el sistema de trabajo, por eso no requiere de sostenimiento porque deja paredes uniformes lo que minimiza la resistencia del paso del aire.

3.3.6 Partes principales del equipo Raise Boring.

3.3.6.1 Conjunto de reductores

Son tres o cuatro transmisores en conjunto con engranajes y piñones los que minimizan la rapidez a los valores indicados anteriormente, de acuerdo a la operación a realizar. También incorpora un sistema de empuje electrohidráulico compuesto por una serie de bombas hidráulicas de alta presión y válvulas solenoides (aproximadamente 3000 PSI) que proporciona a los cilindros hidráulicos la presión de trabajo necesaria para el empuje durante las dos fases de funcionamiento. La tensión requerida para operar depende de la columna y la longitud que está en suspensión, la calidad geomecánica de la roca a extraer, sus características estructurales y el encharcamiento final de la construcción. Principalmente se puede especificar los siguientes parámetros: Perforación piloto: de 0 a 3 Mpa Relleno: de 4 a 20 Mpa (Aguila et al., 2016).

3.3.6.2 Sistema de sujeción de la columna de barra

Son elementos de la parte mecánica que se tratan térmicamente cuya función es sujetar la columna en las dos fases del proceso y transferir la fuerza de empuje en la rotación a las herramientas que cortan (Aguila et al., 2016).



3.3.6.3 Base y cuerpo principal

Son elementos de fabricados de fierro fundido en los cuales se ensamblan la base y cuerpo principal. Toda la estructura se instala en una losa de concreto (Aguila et al., 2016).

3.3.6.4 Conjunto eléctrico

Son elementos eléctricos constituido por transformadores, sistemas con arranque suave, limitadores de par y mecanismos de protección que protegen contra roturas y daños a la columna que se extiende durante el arranque y parada de rotación en cada etapa (Aguila et al., 2016).

3.3.6.5 Columnas de perforación

Se compone esencialmente de barras, estabilizadores piloto y de escariado. La correcta combinación de estos materiales permite un funcionamiento eficiente y seguro (Aguila et al., 2016).

3.3.6.6 Escariador cabezal

Se trata de una estructura metálica asimétrica a la que se fijan las herramientas de corte, utilizada para crear la ampliación o zona de corte final durante la construcción de la chimenea.

Funciona empujando y girando hacia arriba contra la roca, perforándola.

(Aguila et al., 2016).

3.3.6.7 Estación de trabajo

Esta estación puede instalarse en superficie de la mina o en el interior de la misma, donde se realizan las excavaciones.

(Aguila et al., 2016).

3.3.6.8 Motor eléctrico

Su función es de dar rotación en la columna de perforación tanto en la etapa de piloto como escariado (Aguila et al., 2016).

3.3.6.9 Aceros de perforación

Los aceros de perforación es la primera pieza que aplica energía en la roca y tenemos:

- **Tricono**

Está conformado por 03 brocas pequeñas unidas a una misma barra, hechos por lo general de manganeso o tungsteno haciéndolos resistentes al trabajo continuo y su función principal es hacer el hueco piloto de la perforación (Aguila et al., 2016).



FUENTE: Tecnología minera, 2024

Figura 11— Triconos

- **Escariador**

El escariador es el acero que sirve como herramienta de perforación para ensanchar el taladro piloto dando el ensanchamiento final de la chimenea (Aguila et al., 2016).



FUENTE: Tecnología minera, 2024

Figura 12 — Escariador

3.3.7 Ventilación de minas

Este proceso se realiza mediante la circulación del aire al interior de los túneles en mina en el sub suelo el cual satisface las necesidades y equipos de los trabajadores, para eliminar gases, vapores y polvo del aire que pueden afectar la integridad en los trabajadores o para asegurar condiciones térmicas adecuadas y confortables. Así mismo tiene como objetivo asegurar que la operación minera cuente con un adecuado suministro de aire, tanto cuantitativa como cualitativamente, para minimizar la contaminación presente en todas las áreas donde el personal desarrolla labores diarias, asiéndose cumplir con los límites establecido por el área de seguridad (Ccanque, 2023).

3.3.8 Aire de minas

El aire de mina es el conjunto de gases con vapores, que siempre contiene polvo presente en las minas subterráneas. El aire usado viene del aire ambiente exterior, al entrar en la mina su composición cambia. Cundo cambia su composición y este es mínimo y el aire aún se asemeja al aire ambiente, se denomina "aire fresco" o "aire de suministro". Sin embargo, si el aire esta impuro, se llama "aire viciado" o "aire de escape". De acuerdo como el aire circula dentro de la labor, absorbe los gases, el calor y el polvo generados por los trabajos mineros (Ccanque, 2023).

3.3.9 Distribución del aire

La dotación de aire en el sistema de ventilación mina implica asignar flujos en cantidad y calidad de aire en diferentes partes en interior mina que requieren de este proceso, de manera que se logren: ambientes subterráneos adecuados para el desempeño normal del personal que labora y un funcionamiento óptimo de las del lugar de trabajo y lo que lo rodea (Cisternas, s.f.).

3.3.10 Requerimientos por altura según norma

Según (Decreto Supremo N° 023-2017-EM, 2017) que modifica el artículo 247 del Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, el caudal mínimo de aire fresco por trabajador se establece en función de la altitud de la operación minera. El reglamento considera un caudal base de 3 m³/min por persona, al cual se aplican incrementos porcentuales de acuerdo con la altura sobre el nivel del mar, conforme se muestra a continuación:



- Entre 1,500 a 3,000 msnm aumentara en 40% lo que equivale a 4 m³/min
- Dede 3,000 a 4,000 msnm se incrementará en 70% correspondiendo a 5 m³/min
- Por encima de los 4,000 msnm se incrementará en 100% equivalente a 6 m³/min

3.3.11 Tipos de ventilación

Los tipos de ventilación son natural y mecánica

3.3.11.1 Ventilación natural

Este tipo de ventilación se da al movimiento espontáneo del aire dentro en interior mina, independiente de ventilaciones de origen mecánicas. Esta corriente de aire se debe a diferencias en altitud entre en ingreso de entrada y salida, provocando fluctuaciones de densidad en el aire, que es el factor principal que causa estas diferencias de temperatura, seguidas en mínima escala por fluctuaciones en cuanto a presión, contenido de humedad y composición del aire (Ccanque, 2023).

3.3.11.2 Ventilación mecánica.

Este tipo de ventilación se llama ventilación forzada y se crea generando diferencias de presión en un sistema de ventilación utilizando dispositivos mecánicos alimentados por electricidad, aire comprimido, motores de combustión o medios similares (Ccanque, 2023).

Dentro de la ventilación mecánica tenemos los siguientes:

a) Ventilador principal

El ventilador principal es un ventilador que puede ser instalado desde superficie o de mina, este ventilador mueve el aire de superficie al interior mina con un flujo constante por la inyección o extracción de aire (Ccanque, 2023).

b) Ventilador secundario

El ventilador secundario es un ventilador de control de nivel o presión este tipo de ventilador mueve el aire a diferentes niveles en

el interior de una estructura. Tiene como propósito dirigir eficientemente el flujo de aire, contribuyendo así al control de la presión en diferentes áreas de la mina establecidos (Ccanque, 2023).

c) Ventilador auxiliar

Es un ventilador que fuerza el aire a través de bolsas o conductos hacia áreas ciegas en labores mineras establecidos (Ccanque, 2023).

3.4 Marco conceptual

a) Minería

Para la Enciclopedia (Britanica, 2025) es el proceso de extraer de minerales hacia la superficie terrestre, incluyendo las zonas oceánicas. Un mineral se define como sustancia inorgánica de origen natural que tiene una composición química determinada de sus propiedades.

b) Aire

Para (Ccanque ,2023) es una sustancia de mezcla gaseosa invisible, que no tiene olor ni sabor que circunda la Tierra y es parte de la atmósfera.

c) Polvos en minas

Para (Ccanque ,2023) Son pequeñas partículas sólidas que forman el polvo. De acuerdo al tamaño, su concentración y composición, el polvo podría poner en peligro el bienestar del trabajador y su seguridad operacional al tener poca visibilidad. Si se genera polvo o es inevitable, deberán aplicarse todas las medidas necesarias para reducir los niveles de polvo ambiente, cumpliendo al mismo tiempo los valores límite aplicables

d) Chimenea

Para (Curasma y Tito, 2015) la chimenea son conexiones verticales o inclinadas entre dos niveles de mina. Su propósito es facilitar el transporte de minerales, así como los servicios, el procesamiento, la exploración y la ventilación dentro de la mina.



e) Tecnología

Para (Igfmining, 2019) Se trata de avances tecnológicos que hacen las operaciones más productivas y seguras y que, al integrarse en los proyectos mineros, tienen diversos impactos en las operaciones mineras.

f) Costos

Para (Aguirre y Mallqui, 2019), se refiere a los costos a la cantidad de valor que representa un producto o servicio en relación a la inversión en personal, equipo o procesos una vez completado el período de desarrollo planificado.

g) Temperatura

Para (Westdary, 2025), la temperatura es energía de calor contenida en un objeto o en sustancias. Así mismo se mide en cantidades de calor que contiene un objeto o en sustancia. La temperatura tiene sus medidas en unidades que son grados Celsius (°C) o Fahrenheit (°F).

h) Caudal de aire

Para (Soler y Palau, 2024), El caudal es la cantidad de fluido que fluye a través de una sección transversal por unidad de tiempo. Este concepto se aplica a todo tipo de fluidos, incluido el aire.

i) Velocidad de aire

Para (Zhong Ting, 2023), la velocidad y la dirección lo indica el flujo de aire en la que el aire se mueve en un área específica. Es crucial en muchas industrias e impacta la productividad, la seguridad y las operaciones en general, determinar la velocidad del flujo de aire es importante para mejorar la calidad del aire interior, optimizar el funcionamiento de los equipos, aumentar la seguridad de los empleados y aumentar la eficiencia general.

j) Temperatura del aire

Para (Fondriest Staff, 2010), La temperatura del aire es el valor medio en términos de temperatura atmosférica. Este parámetro meteorológico es el más utilizado. Más precisamente, la temperatura describe la energía del aire, la energía cinética de los gases que contiene. A medida que las moléculas de gas se aceleran, la temperatura del aire aumenta.



k) Rendimiento

El rendimiento en términos generales es el indicador que se expresa entre los resultados que se obtuvo y los recursos que se usaron, ya sea humano, equipo o algún sistema que cumplen tareas programadas.

l) Geomecánica

La geomecánica es aquella que estudia las características físicas y mecánicas principalmente la roca y suelos evaluando la estabilidad de las excavaciones cuando tiene cambios ya sean naturales o por intervención de obra humana, permitiendo trabajar en zonas seguras.

m) Rimado

Es el agrandamiento de un agujero ya iniciado dejándolo limpio liso y mejorado para dar un paso seguro firme y bien acabado.

n) Perforación

La perforación la primera actividad de extracción de la minería subterránea y a cielo abierto. Su finalidad consiste en hacer cavidades cilíndricas en la roca para ser empleadas para trabajos de exploración, preparación de voladuras y el desarrollo de túneles mineros.

o) Sobrerotura

Este término hace referencia a la sobre excavación generada en labores mineras cuando la labor de avance se excede a lo previsto.

p) Rampa

Es una labor minera diseñada para desarrollar diferentes niveles en minera subterráneas estas son inclinadas ya sean positivas o negativas, y su función principal es la exploración, desarrollo y explotación

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA

4.1 Tipo y nivel de investigación

4.1.1 Tipo de investigación

Según (Tamayo y Tamayo, 2003), la investigación es de tipo aplicada, ya que tiene como objetivo resolver un problema específico mediante el uso de conocimientos científicos y tecnológicos. El estudio busca mejorar el sistema de ventilación por medio de la chimenea 305 en la Unida Minera Americana optimizando condiciones de ventilación.

4.1.2 Nivel de investigación

Para (Arias, 2006), la presente investigación es de nivel explicativo. Este nivel de investigación mencionado se centra en determinar las razones de lo ocurrido mediante el establecimiento de una relación de causa y efecto. En el estudio el presente estudio se analizó como la aplicación del Raise Boring influye en la mejora en la mejora de la ventilación determinando el efecto de la variable independiente sobre la dependiente.

4.2 Diseño de la investigación

De acuerdo a (Arias, 2006), en la presente investigación se empleó un diseño preexperimental, ya que se evaluó el sistema de ventilación de la chimenea 305 antes y después de la aplicación del método Raise Boring, con el propósito de determinar los efectos de dicha intervención sobre las condiciones de ventilación.

Esquema del diseño actual:

$$G.E. \ O_1 \ X \ O_2 \tag{1}$$

donde

G.E. es el grupo experimental;

*O*₁ es el Pretest del grupo experimental (condiciones de ventilación antes de la aplicación);

X es la aplicación de la chimenea mediante Raise Boring;

O_2 es el Postest del grupo experimental (mejora de la ventilación después de la aplicación).

4.3 Descripción ética de la investigación

El actual estudio respetó y cumplió con los estándares de ética como son el compromiso, respeto, integridad responsabilidad como profesional y la verdad. Así mismo se da buena fe del uso adecuado y con responsabilidad sobre el uso de la información proporcionada por la empresa minera. La presente investigación se desarrollará con criterios de honestidad académica y profesionalismo.

4.4 Población y muestra

4.4.1 Población

Para Balestrini, (2006), la población es un conjunto de elementos con singularidades comunes, la población estuvo conformada con todas las chimeneas construidas con el método Raise Boring en la unidad minera

4.4.2 Muestra

Para (Balestrini, 2006), la muestra constituye una fracción de la población elegida en razón científica que es parte de la población, su elección debe ser la más adecuado posible, en razón de lo anterior la muestra estuvo conformada por la chimenea 305 que va desde el Nivel 21 al Nivel 23 para mejora de la ventilación.

4.5 Procedimiento

- Se ha realizado la recolección de información inicial mediante la información de antecedentes técnicos y bibliográficos que estén relacionados con la aplicación de chimeneas con método Raise Boring y su mejora para ventilación en la mina a nivel internacional y nacional. Para ello se revisaron tesis, informes, artículos y científicos.
- Se efectuaron la recolección de los datos de campo mediante informes técnicos y planos de obra de la mina donde se aplicó excavación en chimenea con el método Raise Boring. Se juntaron datos tales como, tiempos, Longitud, diámetro, costos unitarios, parámetros de ventilación antes y después de construir una chimenea. Así

mismo se realizará la organización de los datos recopilando y organizando en tablas comparativas, identificando valores.

- Análisis estadístico fue descriptivo para comparar los resultados como los promedios de avance, costos lineales por metro, variación en el flujo de aire, tiempo de ejecución, también se utilizarán gráficos como los de barras.
- Para la interpretación de resultados se realizó en base a los datos analizados, sobre los efectos reales de la aplicación del método Raise Boring en mejora de la ventilación de la mina.
- Las conclusiones se realizaron en base a técnicas sobre la eficiencia del método Raise Boring para mejorar la ventilación en la mina.

4.6 Técnica e instrumentos

4.6.1 Técnicas

4.6.1.1 Técnica del análisis documental

La información y datos está recolectados con relación a la variable dependiente siendo esta la medible en evidenciar el efecto causado.

4.6.1.2 Técnica del fichaje

Esta técnica es utilizada porque nos permite toda información textual sobre las variables en el estudio.

4.7 Análisis estadístico

4.7.1 Reportes e informes

Los informes y análisis elaborados a partir de 2025 se centran en la aplicación del sistema de perforación ascendente a las chimeneas de la Unidad Minera Americana. Estos informes y análisis ofrecen información específica sobre los tiempos de construcción, los costos, los caudales de aire y las temperaturas.

4.7.2 Fichas de investigación

En el actual estudio las fichas elaboradas serán bibliográficas, hemerográficas, fuentes documentales y transcripciones textuales de autores, materiales académicos de información resumen y experiencias propias.



CAPÍTULO V

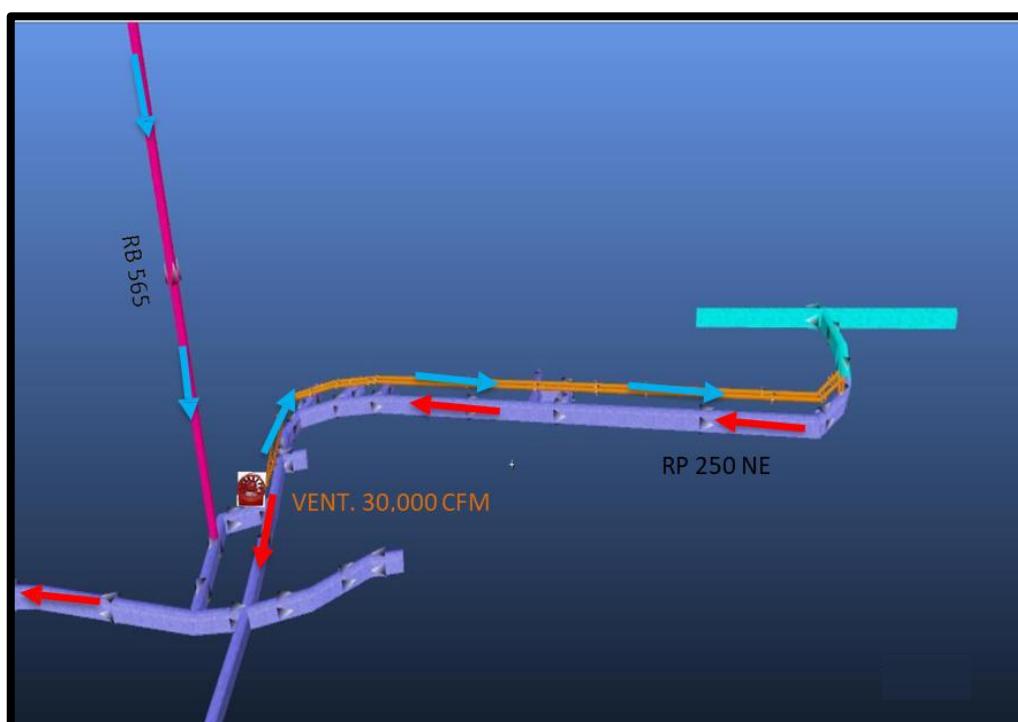
RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1 Análisis de resultados

En el capítulo se presentarán y analizan el estado actual del sistema de ventilación antes de la aplicación del método Raise Boring en la Unidad Minera Americana de la Compañía Minera Sobre Andes 2025, resultados que se obtuvieron al construir la chimenea 305 aplicando el método Raise Boring desde el nivel 21 al nivel 23 con diámetro de 2.4 metros en mejora de la ventilación en labores de profundización y dar conformidad a las hipótesis en la presente investigación.

5.1.1 Estado inicial del sistema de ventilación

A continuación, realizo el balance de flujo de ventilación en la RP 250 NE



FUENTE: Elaboración propia.

Figura 13 — RP 250 profundización

En la Figura 13 se observa el recorrido del caudal de aire inicialmente, la flecha de color azul es el aire limpio que ingresaba por la RB 565 y las flechas rojas son el aire contaminado que salían en la RP 250 NE.

5.1.1.1 Condiciones iniciales RP 250 NE antes de aplicar el método Raise Boring

Antes de la aplicación del método Raise Boring, se hizo una evaluación de las condiciones iniciales del flujo de aire en la RP 250 NE, que se ubica en zona de profundización en la Unidad Minera Americana, este proceso fue fundamental para poder establecer la línea base del sistema de ventilación y determinar las necesidades operativas previas a la construcción de la chimenea 305 en dicha zona. En esta etapa se efectuó la toma de datos relacionados con el comportamiento del flujo de aire existente, registrándose el caudal de ingreso y las pérdidas asociadas al recorrido del circuito actual. Asimismo, se cuantificó el número de trabajadores que operaban en la zona, la demanda de aire requerida para garantizar condiciones adecuadas de seguridad y confort, y los equipos diésel que contribuían al aumento de carga térmica y consumo de oxígeno en la labor.

Se identificaron restricciones significativas en la ventilación, como caudales insuficientes, acumulación de gases en horas de mayor operación y limitaciones para la disipación del calor generado por los equipos. Estas condiciones inseguras justificaron la necesidad de ejecutar la profundización de la chimenea de ventilación mediante el método Raise Boring, con la finalidad de mejorar el flujo de aire, incrementar el caudal disponible y asegurar un ambiente de trabajo seguro y estable para el personal y las operaciones.

Tabla 7 — Cálculo de ingreso de caudal de aire en la RP 250 NE

Estación	Lugar de monitoreo	Temperatura (°C)	Sección (m)		Área (m ²)	Velocidad promedio m/min	Caudal m ³ /min CFM	
RP 250	RP 250 NE	27.6	3.56	3.52	11.7	28	326	11,523

FUENTE: Elaboración propia.

En la Tabla 7 se muestra la toma de datos realizados en la RP 250 NE, teniendo como estación la RP 250 y lugar de monitoreo la RP 250 NE, con una temperatura de 27.6 °C, con una sección de la Rampa de ancho

3.56 metros por un alto de 3.52 metros, con un área de 11.7 m² y con un ingreso del caudal de aire de 326 m³/min o 11,523 CFM.

Tabla 8 — Cálculo requerimiento de aire en la RP 250 NE

a) Caudal requerido por el número de trabajadores (QTr)					
QTr = F*N F = 6m³/min; N°= Total pers./guardia (D.S 023 EM 2017 - Art.247)					
Escala de Requerimiento de aire para los trabajadores según la altitud de la mina					
Altitud (m.s.n.m)		Cantidad de aire por persona (m3/min)			
0 - 1500		3			
1500 - 3000		4			
3000 - 4000		5			
>4000		6			
Número de trabajadores	m³/persona	Caudal			
		m³/min	CFM		
5	6	30	1,059		
b) Caudal requerido por equipo con motor petrolero (QEq)					
QEq= 3*HP*Dm*Fu					
HP = Capacidad efectiva de potencia; Dm = Disponibilidad Mecánica (%).					
Fu = Factor de utilización (%).					
Equipo	HP	Dm	Fu	Caudal	
				m³/min	CFM
01					
Scoop	126	100%	100%	378	13,349
R1300					
Total				378	13,349
Requerimiento caudal de aire para la operación en la labor				Caudal Total	
QT = QTr +Qeq				m³/min	CFM
				408	14,408
FUENTE: Elaboración propia.					

En la Tabla 8 se muestra que el caudal por trabajador es 6 m³/min correspondiente a minas ubicadas a más de 4 000 m s. n. m., y el caudal requerido por el equipo (378 m³/min) se combinan para obtener un requerimiento total de 408 m³/min o 14,408 CFM, para las conversiones entre m³/min y CFM se hizo utilizando el factor 1 m³ = 35,3147 ft³/min.

Tabla 9 — Resultados de la cobertura de aire en la RP 250 NE antes de la mejora

Resultados de ventilación	m ³ /min	CFM
Caudal requerido para la operación	408	14,408
Ingreso de aire a mina	326	11,523
Cobertura (%)	80%	
Déficit (CFM)	-82	-2,885
FUENTE: Elaboración propia.		

En la Tabla 9 se muestra que el caudal requerido para la operación era de 408 m³/min, con una cobertura de 80% y un déficit de – 2,885 CFM, estos resultados indican que debe mejorar en la capacidad del sistema de ventilación.

5.2 Proceso técnico de ejecución del método Raise Boring aplicado a la chimenea 305 de la Unidad Minera Americana

La aplicación del método Raise Boring en la Unidad Minera Americana tuvo como objetivo la construcción de la chimenea 305 para optimizar el sistema de ventilación en la zona de profundización de la mina, conectando el Nivel 21 con el Nivel 23 en la RP 250NE, con un tipo de roca de III-A de RMR de 60-51 (ver Anexo E y F)

A continuación, se detalla el proceso técnico de ejecución llevado a cabo:

- **Trabajos preliminares e instalación del equipo:**

Se traslado desde superficie hacia interior mina el equipo Raise Boring y se instaló la cabeza y el equipo de Raise Boring en el Nivel 21 sobre una losa de cimentación preparada con anterioridad asegurando el alineamiento y dirección de la perforación según las especificaciones del proyecto.

- **Perforación del taladro piloto:**

Se ejecutó la perforación descendente de la broca piloto desde el Nivel 21 hasta comunicar con el Nivel 23 llegando hacia una cámara (como se muestra en el Anexo B).

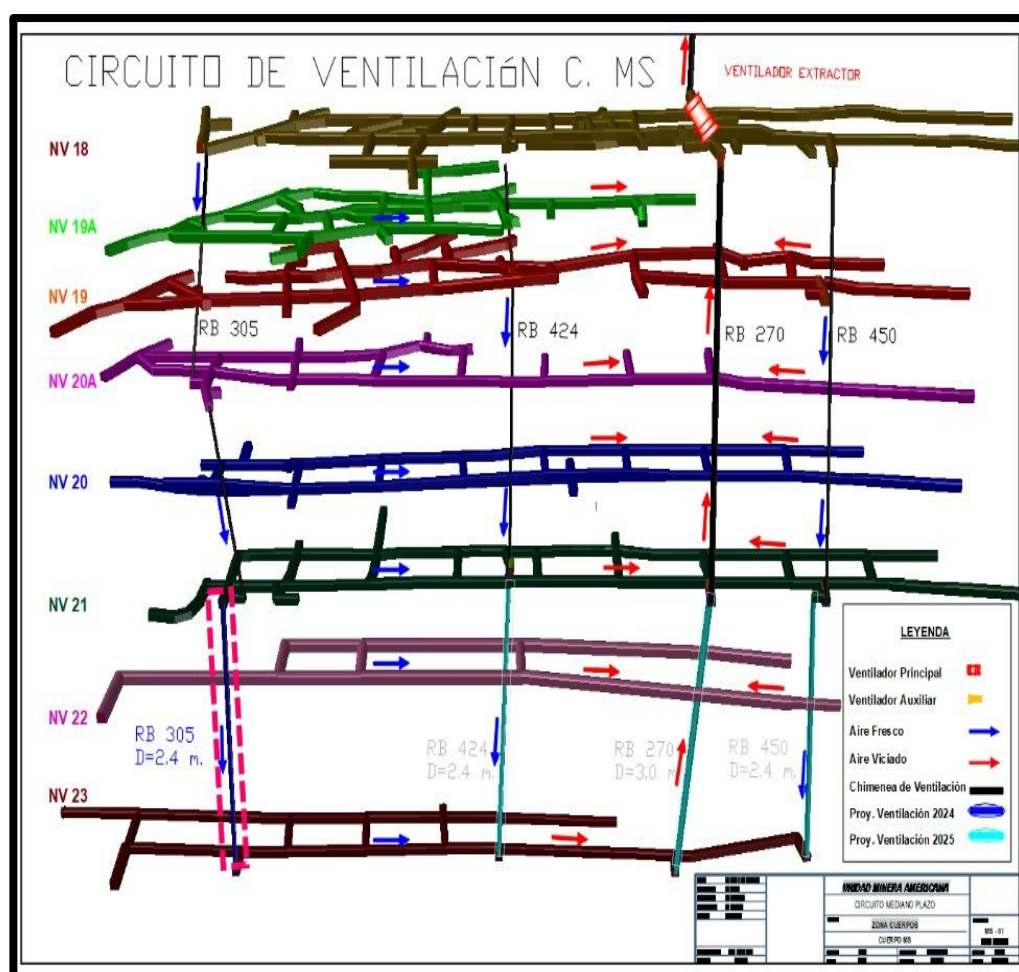


- **Escariado ascendente:**

Una vez interceptado el Nivel 23 se desacopló la broca piloto y se instaló la cabeza escariadora de 2.4 m de diámetro (ϕ) y se inició el proceso de escariado de forma ascendente desde el Nivel 23 hacia el Nivel 21 (conforme se detalla en el plano del Anexo D) haciendo caer la roca fragmentada por gravedad hacia la base del Nivel 23 para su posterior limpieza con un scoop para evacuación del material hacia la desmonteras en superficie.

- **Parámetros operativos, costos y tiempos:**

Tiempo de ejecución de la chimenea tuvo un cronograma de trabajo total de 4 meses y una semana (ver Anexo G). El costo unitario por metro lineal de avance para un diámetro de 2.4 m fue de 1,236 USD/m (ver Anexo H). Los **estándares y procedimientos** de toda la operación se ejecutaron bajo los procedimientos de trabajo seguro y estándares de la unidad minera (ver Anexos I,J,KYL).



FUENTE: Elaboración propia.

Figura 14 — Circuito de ventilación por niveles

En la Figura 14 se muestra el circuito de ventilación por niveles y como se realizó la construcción de la chimenea RB 305.

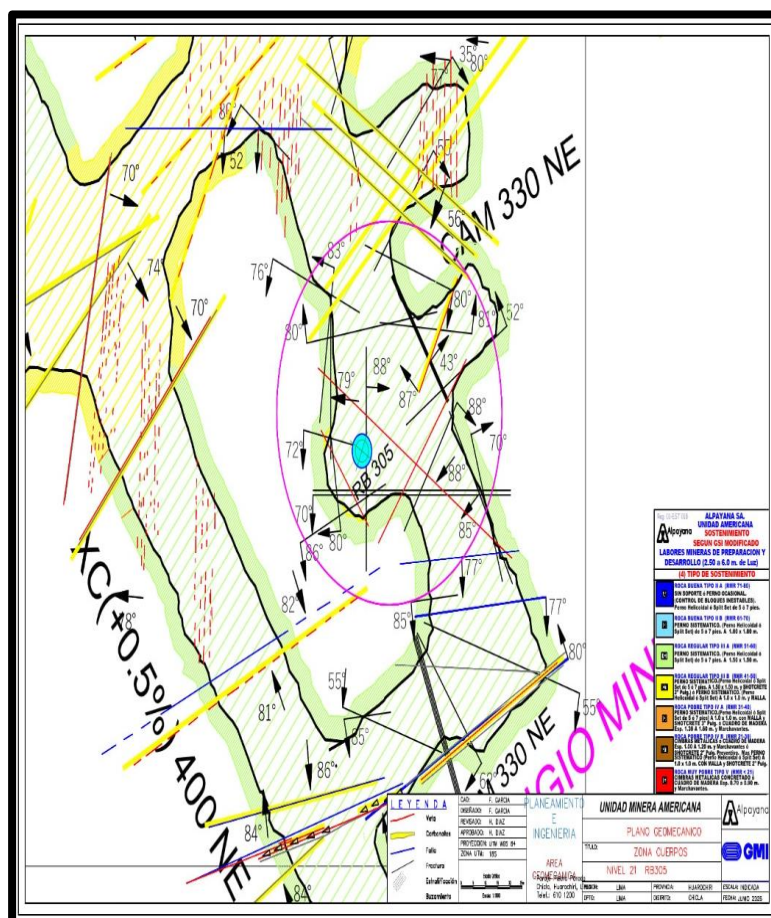
5.2.1 Datos de la chimenea 305

Tabla 10 — Datos de la chimenea 305

Zona	Profunda
Nivel	21A
U.E.A	Americana
Longitud	113 metros
Angulo	80 grados
Tipo de roca	III-A
FUENTE: Elaboración propia.	

En la Tabla 10 se muestran los datos generales en la chimenea RB 305.

5.2.2 Condiciones geomecánicas en la chimenea 305



FUENTE: Elaboración propia.

Figura 15 — Plano geomecánico

En la Figura 15 se observa cómo se realizó la evaluación geomecánica donde se realizó la chimenea RB 305.

5.2.3 Características técnicas del equipo Raise Boring SBM 450

Tabla 11 — Características técnicas del equipo

Ítem	Descripción técnica	Unidad
Modelo de equipo	SBM 450	Unid.
Potencia instalada	150	kW
Torque máximo	81	kN-m
Empuje máximo	1,700	kN
Velocidad de rotación	0 – 25	rpm
Avance promedio (piloto)	10 – 15	m/día
Avance promedio (rimado)	3 – 6	m/día
Diámetro de perforación piloto	254	mm
Diámetro final de ensanche (chimenea 305)	2.4	m
FUENTE: Pybar Mining Services Pty Ltd., S. F.		

En la Tabla 11 se muestran las características técnicas del Equipo Raise Boring, como el modelo del equipo, potencia instalada de 150 Kw, esta permite mantener una rotación estable bajo carga y asegurar una operación continua y eficiente en la construcción de la chimenea 305, torque máximo de 81 kN-m representa la capacidad alta para romper o cortar roca, Empuje máximo de 1,700 kN el que representa la máxima fuerza hidráulica que la maquina puede impulsar la perforación contra la roca al realizar el taladro piloto, con una velocidad de rotación de 25 rpm representa la velocidad máxima de giro para el cual es adecuada para roca competente, este equilibra torque, empuje y estabilidad en la excavación de chimenea, también los avances por día los que varían de acuerdo a las demoras operativas durante la excavación.

5.2.4 Personal involucrado en la construcción de la chimenea 305

Tabla 12 — Personal involucrado en la construcción del RB 305

Ítem	Cargo	Funciones
1	Ingeniero Residente	Encargado de la ejecución del proyecto establecidos por lineamientos de la empresa
2	Ingeniero de Seguridad	Encargado de los lineamientos de sistema de gestión de seguridad y salud ocupacional
3	Administrador	Encargado de la logística y contratos.
4	Ingeniero Jefe de Guardia	Encargado del control operativo por turno, verificando parámetros, supervisión del equipo y personal.
5	Supervisor Técnico	Seguimiento técnico del Raise Boring; verificación de torque, empuje, alineamiento y registros.
6	Operador RB	Ejecutor directo de la máquina SBM; ejecución de perforación piloto y rimado.
7	Asistente RB A	Apoyo en armado de barras, conexiones, terqueado y asistencia al operador.
8	Asistente RB C	Apoyo en manejo de herramientas y soporte en las operaciones auxiliares.
9	Mecánico – Electricista	Mantenimiento correctivo y preventivo de la SBM, motor, sistema eléctrico y sensores, de acuerdo a lo programado.
FUENTE: Elaboración propia.		

En la Tabla 12 se muestra la lista del personal involucrado para la construcción y profundización de la chimenea 305, con las funciones detalladas de cada uno de los trabajadores, esto permitirá una mejor eficiencia en los trabajos que se realizaron para el proyecto, ya que cada uno tiene un trabajo específico.

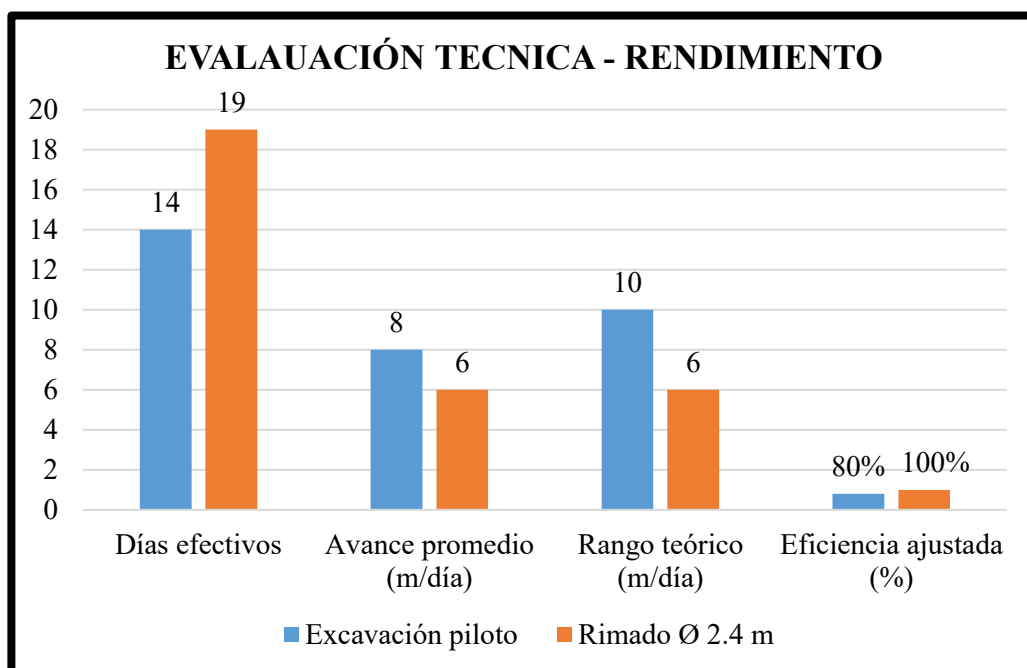
5.2.5 Evaluación técnica del rendimiento

Tabla 13 — Evaluación técnica del rendimiento del RB 305

Ítem	Días efectivos (día)	Avance total (m)	Avance promedio (m/día)	Rango teórico (m/día)	Eficiencia ajustada (%)
Excavación piloto	14	113	8	10 - 15	80 %
Rimado Ø 2.4 m	19	113	6	3 - 6	100 %

FUENTE: Elaboración propia.

En la Tabla 13 se muestran las eficiencias en construcción de la chimenea RB 305 donde la excavación del taladro piloto fue de 80% esto se debe a horarios de trabajo y control del piloto para mantener una buena perforación con mínima desviación y el proceso de rimado de 100% lo que indica una perforación optima.



FUENTE: Elaboración propia.

Figura 16 — Evaluación técnica del rendimiento

En la Figura 16 se observa le rendimiento del avance de la chimenea piloto en 14 días con un 80% de la eficiencia y con 19 días en el rimado con una eficiencia del 100% teniendo un impacto positivo en la ejecución de la chimenea.

5.2.6 Calidad técnica final de la excavación producida por el método Raise Boring

Tabla 14 — Calidad final de excavación en RB 305

Parámetro evaluado	Resultado obtenido	Condición técnica
Desviación final	0.1 % respecto del eje	Dentro de tolerancia
Diámetro final rimado	2.40 m	Coincide con diseño
Rugosidad de pared	Homogénea	Adecuada para ventilación
Sobreroturas	0%	Buena
Estabilidad geomecánica	Buena	No requiere fortificación
Limpieza del buzón	Completa	Apta para habilitación
Condición del collar	Estable y accesible	Listo para ventilación
FUENTE: Elaboración propia.		

En la Tabla 14 se muestra que la chimenea 305 excavada mediante el método Raise Boring presentó una desviación acumulada dentro de los valores permisibles del equipo SBM, manteniendo el eje proyectado en todo el tramo de 113 m. El diámetro final alcanzado fue de 2.40 m conforme a lo diseñado, con variaciones menores asociadas al comportamiento de la litología encontrada. Las paredes mostraron una rugosidad homogénea, sin sobreroturas significativas ni zonas inestables. Las condiciones geomecánicas finales indicaron una estructura estable y apta para el uso inmediato como chimenea de ventilación. Asimismo, el buzón inferior fue completamente limpiado, permitiendo la habilitación de la chimenea para la instalación del sistema de ventilación correspondiente.

5.2.7 Análisis del circuito de ventilación impelente (insuflado) para la chimenea RB 305

5.2.7.1 Aspecto técnico

a) Ventajas

- **Inyección directa de aire limpio:** Introduce aire fresco y limpio desde la superficie u horizonte principal directamente a la zona de trabajo RP 250NE en los niveles 21-23 presurizando la labor.
- **Presurización positiva:** Al mantener las labores bajo presión positiva este disminuye las fugas de gases o contaminantes provenientes de labores antiguas o abandonadas adyacentes.
- **Mayor durabilidad de los equipos:** El ventilador trabaja en contacto directo con aire limpio, lo que reduce el desgaste de las aspas por erosión de finos o gases corrosivos.

b) Desventajas

- **Barrido lento en la salida:** Los gases contaminantes y el polvo generados por las operaciones son empujados hacia las vías de tránsito o galerías principales a menor velocidad antes de salir de la mina.
- **Visibilidad en vías de evacuación:** Durante voladuras o picos de producción, los gases pueden retornar por las galerías habitualmente transitadas por personal y equipos.

5.2.7.2 Aspecto económico

a) Ventajas:

- **Menor costo de mantenimiento del equipo:** Al no estar expuesto a polvo abrasivo ni a gases ácidos del interior mina, el ventilador insuflador sufre menos deterioro, reduciendo costos por repuestos y paradas no programadas.



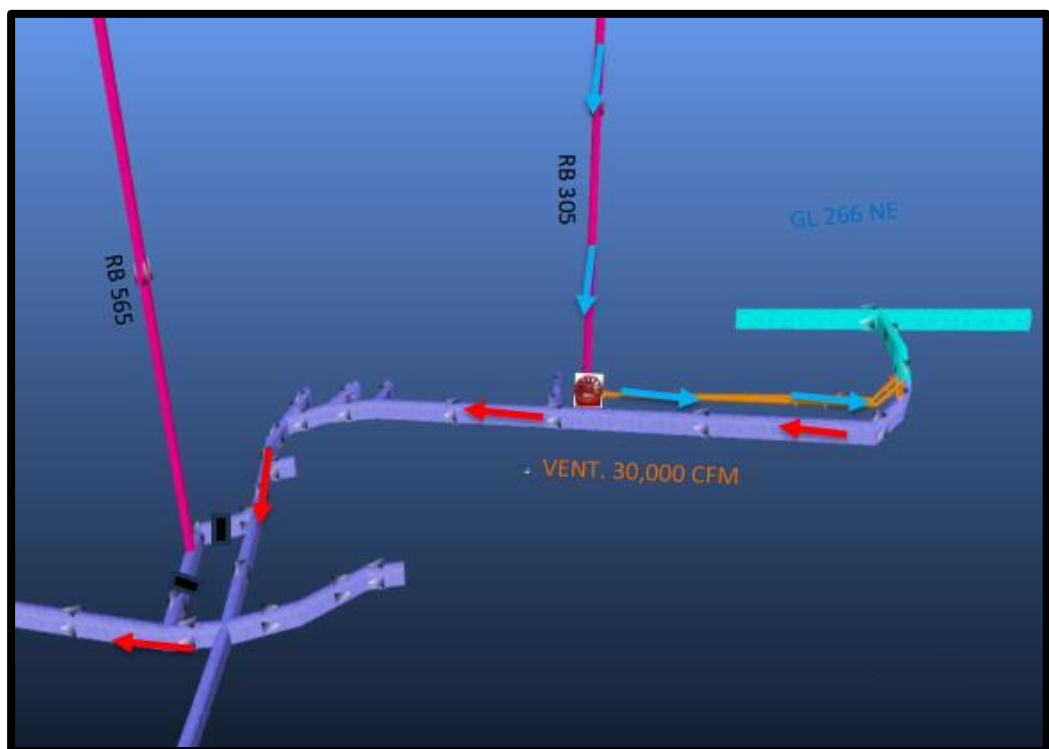
- **Eficiencia operativa:** Requiere menores ajustes mecánicos continuos en las aspas y carcasas.

b) Desventajas:

- **Posible requerimiento de ductos o mangas de mayor diámetro:** Para lograr una velocidad y caudal adecuado al presurizar hasta la zona de profundización, puede exigir una inversión inicial ligeramente mayor en la infraestructura del circuito o mangas de distribución.

5.2.8 Estado final del sistema de ventilación después de aplicar el método Raise Boring

Después de realizar el balance de ventilación en la RP 250 NE y al construir el Raise Boring 305, la cobertura del caudal obtuvo los siguientes resultados.



FUENTE: Elaboración propia.

Figura 17 — Raise Boring 305 profundización

En la Figura 17 se muestra ya construido la chimenea Raise Boring 305 en la RP 250 NE

Tabla 15 — Levantamiento de ventilación en labor

Estación	Lugar de monitoreo	Temperatura	Sección		Área	Velocidad promedio	Caudal	
RP 250	RP 250 NE	°C	Ancho (m)	Alto (m)	(m ²)	m/min	m ³ /min	CFM
		26.7	3.56	3.52	11.7	46	536	18,931

FUENTE: Elaboración propia.

En la Tabla N° 15 se observan el monitoreo y el caudal de ingreso a mina que fue de 536 m³/min, con una temperatura de 26.7 °C, con una velocidad de aire promedio de 46 m/min.

Tabla 16 — Cobertura de aire

Resultados de ventilación	m ³ /min	CFM
Caudal requerido en la operación	408	14,408
Ingreso de aire a mina	536	18,931
Cobertura (%)	131%	
Superávit (CFM)	128	4,523

FUENTE: Elaboración propia.

En la Tabla N° 16 se observa que el caudal requerido para la operación era de 408 m³/min, con una cobertura de 131% y un superávit de 4,523 CFM, estos resultados indican mejora de la capacidad del sistema de ventilación.

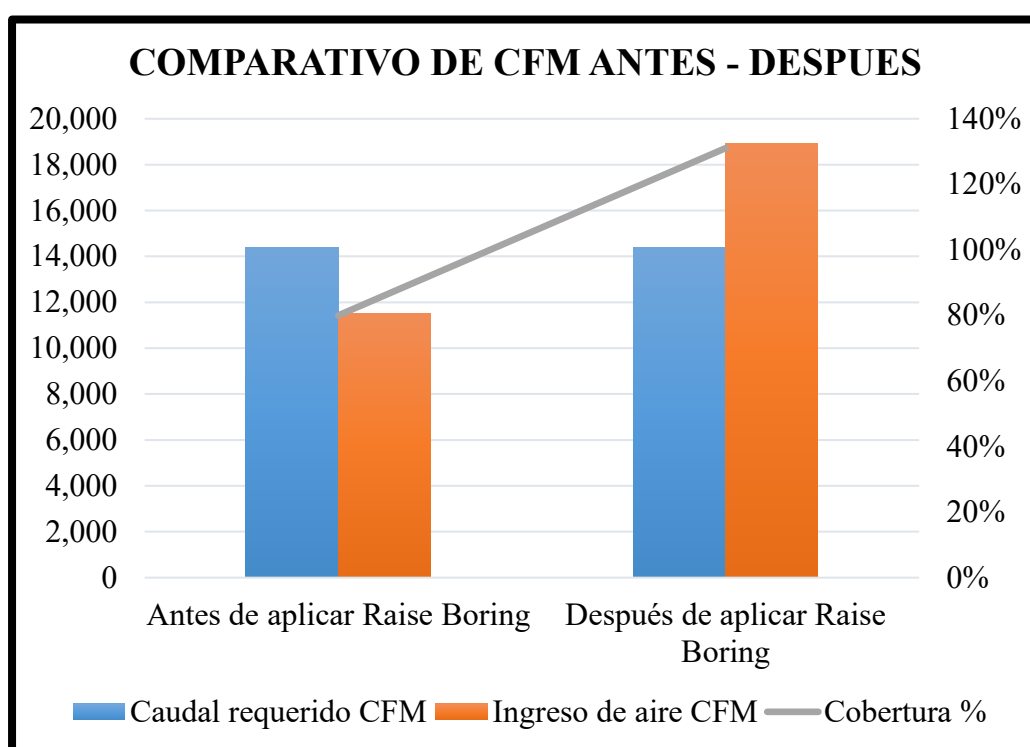
5.2.9 Comparación de resultados antes y después de aplicar el método Raise Boring

Tabla 17 — Cuadro comparativo antes y después de aplicar el método Raise Boring

Ítem	Unidad	Antes de aplicar Raise Boring	Después de aplicar Raise Boring	Variación
Caudal requerido	CFM	14,408	14,408	0%

Ingreso de aire	CFM	11,523	18,931	64%
Cobertura	%	80%	131%	51%
Déficit	CFM	-2,885	4,523	No hay déficit
FUENTE: Elaboración propia.				

En la tabla N° 17 se muestran los resultados comparativos antes y después de aplicar el método Raise Boring, donde la variación en el ingreso de aire fue de 64%, con una cobertura de 131% y se eliminó el déficit de aire, estos indican que aplicar el método Raise Boring mejoro la ventilación en la zona.



FUENTE: Elaboración propia.

Figura 18 — Comparativo antes y después de aplicar el Raise Boring

En la Figura 18 se observa la comparación que el caudal que se requería era de 14,408 CFM mientras que el ingreso de aire era de 11,253 CFM con una cobertura de 80% lo que no cumplía con el caudal necesario, después de implementar se observa que la cobertura tuvo un impacto de 131% evidenciando mejora significativa en la ventilación de la zona de profundización.

5.3 Contratación de hipótesis

5.3.1 Hipótesis general

La aplicación del método Raise Boring, mejora significativamente el sistema de ventilación en la chimenea 305 en la Unidad Minera Americana de la Compañía Minera Sobre Andes – 2025

a) Análisis

Al comparar en la Tabla N° 18 los resultados demuestran que el del caudal del aire en la profundización en la chimenea 305 tuvo un aumento de 11,523 CFM a 18,931 CFM eliminando el déficit inicialmente que había de -2,885 CFM y tuvo un superávit de +4,523 CFM, esto representa una mejora significativa de 51%, en referente a la cobertura de la ventilación de 80% a 131% evidenciando a un incremento significativo en la eficiencia del flujo de aire en la zona de estudio.

b) Decisión

Se comprobó que la aplicación del método Raise Boring mejora significativamente el sistema de ventilación en la Unidad Minera Americana, se acepta la hipótesis general ya que mejora el sistema de ventilación.

5.3.2 Hipótesis específica

a) Hipótesis específica 1

El estado actual del sistema de ventilación tiene deficiencias antes de la aplicación del método Raise Boring.

- **Análisis**

Antes de la implementación del método Raise Boring el sistema de ventilación presentaba una cobertura en la ventilación de 80% evidenciando dificultades, también el caudal de ingreso era menor al requerido en interior mina y también se tenía un déficit de 2,885 CFM, estas condiciones que limitaban la labor diaria en la zona.

- **Decisión**

Se acepta la hipótesis específica 1 porque se evidencio un sistema deficiente antes de la aplicación del Raise Boring.

b) Hipótesis específica 2

El proceso técnico de ejecución del método Raise Boring aumenta la eficiencia en la chimenea 305.

- **Análisis**

después del proceso técnico de la aplicación del Raise Boring donde se evaluó perforación del piloto y rimado, así como la geomecánica, forma de chimenea y limpieza final, esto permitió una ventilación más eficiente y continúa mejorando el flujo de aire el que aumentó de 326 m³/min a 536 m³/min, demostrando un incremento del 64% en el caudal efectivo, reflejando la mejora directa en el sistema de ventilación.

- **Decisión**

Se confirmó hipótesis específica 2 evidenciando buena eficiencia.

c) Hipótesis específica 3

El estado final del sistema de ventilación presenta mejoras en la chimenea 305 después de la aplicación del método Raise Boring.

- **Análisis**

Después de la aplicación del Raise Boring la cobertura de aire mejoro de 80% a 131%, lo que alcanzo un superávit de aire de +4,523 CFM mejorando las condiciones seguras para el personal que labora en la zona de trabajo diario.

- **Decisión**

Se comprobó la efectividad del método Raise Boring mejora el sistema de ventilación, se acepta la hipótesis específica 3.

5.4 Discusión

Al evaluar la aplicación con en el método Raise Boring en la Unidad Minera Americana – Compañía Minera Sobre Andes en el año 2025 se obtuvieron resultados que evidencian mejora significativa de la eficiencia en el flujo de aire, incrementando el ingreso del aire de 11,523 CFM a 18,931 CFM con un 64% de variación, lo que representa una mejora del 51% en la cobertura de ventilación, también este incremento demuestra que mecanizar del proceso no solo optimiza la excavación este también impacta directamente en la calidad del sistema de ventilación subterráneo, estos resultados coinciden con el estudio de Medina (2020), quien en su estudio comparativo técnico–económico de la Mina Pajonales determinó que el método Raise Boring presenta un costo ligeramente superior por metro excavado respecto al método, el Raise Climber demoraba 17 días y que la misma longitud el sistema Raise Boring lo hace en 8 días y el costo del Alimak de 2279.43 USD/m y el Raise Boring 2570.43 USD y la mayor seguridad operativa justifica plenamente su elección. En el caso de la chimenea 305, la mejora en el caudal de aire confirma que la eficiencia del RB compensa su mayor costo inicial, tal como lo reporta Medina en su comparación de alternativas.

Los resultados guardan consistencia con Yepes (2015), quien resalta que el método Raise Boring proporciona alta seguridad, precisión y mejores condiciones de trabajo siendo un procedimiento altamente seguro, esto se refleja en el caso de la chimenea 305, donde el proceso se ejecutó se realizó sin exposición directa del personal al frente de trabajo, eliminando riesgos asociados a gases, polvo y caída de rocas confirmando que el Raise Boring cumple con altos estándares de seguridad y calidad de excavación en minas subterráneas.

También, los resultados coinciden con Muñoz (2022), quien concluyó que el método Raise Boring puede ser más costoso pero alcanza un 100% de eficiencia en una excavación a diferencia de un 50% de los métodos convencionales de perforación donde usa la perforación y voladura. En el actual estudio esta eficiencia se traduce en una ventilación más estable, homogénea y libre de obstrucciones, porque la chimenea excavada por el equipo Raise Boring presenta paredes lisas y una geometría continua que facilita el paso del aire, reduciendo las pérdidas por fricción, de acuerdo con Vélchez (2015), que señala que tanto el sistema Alimak como el Raise Boring son métodos eficientes para la ejecución de chimeneas, y que la elección depende de condiciones geomecánicas del macizo rocoso. En la Unidad Minera Americana, el macizo presentaba

un macizo rocoso de media a alta, con condiciones favorables para perforación mecanizada, lo que favoreció la aplicación exitosa del RB sin incidentes estructurales lo que confirma los resultados experimentales y comparativos obtenidos en la presente investigación respaldan las conclusiones de los estudios previos demostrando con los objetivos de optimización planteados en la chimenea 305 de la Unidad Minera Americana.

Los resultados obtenidos coinciden con lo señalado por Cajahuanca (2019), quien concluyo que el sistema Raise Boring influye positivamente en la ventilación de la zona I-B de la Veta Alexia en la Unidad Minera Arcata, Asimismo, los resultados guardan relación con lo encontrado por Camargo y Segura (2023), quienes evidenciaron que, en una mina del centro del Perú, el uso del sistema Raise Boring permitió mejorar las condiciones de ventilación y temperatura, con una ejecución más rápida y segura en comparación con métodos convencionales. Los resultados también coinciden Suvizarreta (2023), en su estudio sobre la Chimenea-017 de la Compañía Macdesa (Arequipa), encontró un incremento del flujo de aire en 118.56% y una reducción del costo por tonelada a 6.18 \$/TM después de la ejecución de la obra, esto resultados obtenidos también coinciden en la chimenea 305, donde la optimización de la ventilación posterior a la aplicación del Raise Boring también se tradujo en una mayor cobertura de aire y de acuerdo con el estudio de Ccanque (2023), quien lo realizo en la Cía. Minera Alpayana S.A., reportando una mejora de la cobertura de aire del 89 % al 98.7 % al realizar la construcción de la chimenea RB 338, también los resultados de Dante (2016), evidenció que el uso de Raise Boring mejora las condiciones ambientales y de la ventilación incrementando las horas efectivas de trabajo. De manera similar, la chimenea 305 construida mediante Raise Boring incrementó notablemente el flujo de aire y redujo las deficiencias del sistema, mejorando la seguridad de la operación. Asimismo, los hallazgos se relacionan con el estudio de Vera (2019), quien determinó mediante simulaciones que el caudal disponible era insuficiente y debía incrementarse significativamente. Aunque su enfoque fue la modelación del sistema, ambos estudios coinciden en la necesidad de implementar mejoras en la ventilación, en conjunto, los tres trabajos resaltan que una ventilación adecuada es esencial para una operación minera segura y eficiente, lo que confirma la capacidad del Raise Boring para mejorar la eficiencia del sistema de ventilación a mediano y largo plazo.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

La aplicación del método Raise Boring para profundizar y construir chimeneas en mejora de la ventilación tiene impacto eficiente en flujo de aire de la zona de profundización en un 131 % de la cobertura después de aplicar el método a una inicial de 80% antes de aplicar el método.

El análisis inicial al sistema de ventilación en la zona tenía deficiencias el caudal requerido era de 408 m³/min, solo se lograba una cobertura de 80%, lo cual generaba un déficit de – 2 885 CFM, reflejando la necesidad de implementar una mejora para garantizar una ventilación adecuada en la zona de trabajos.

La ejecución del método Raise Boring en la chimenea 305 se desarrolló dentro de los parámetros técnicos establecidos. La excavación mantuvo la alineación proyectada en los 113 m de longitud, se obtuvo un diámetro final de 2.40 m conforme al diseño, y las paredes presentaron una rugosidad uniforme sin sobreroturas ni inestabilidades. La evaluación geomecánica confirmó que la estructura final es segura y apta para operar como chimenea de ventilación.

La cuantificación del sistema de ventilación habilitado determinó un requerimiento total de 408.005 m³/min, con la implementación del sistema de ventilación por el método Raise Boring el caudal llegó a 536.066 m³/min, donde la cobertura ha cubierto al 131%, incrementándose en un 64% más del inicial con el método Raise Boring. Esta evaluación permitió verificar que la nueva infraestructura cumple con los caudales necesarios para una operación segura y eficiente.



6.2 Recomendaciones

Continuar construyendo chimeneas con el método Raise Boring específicamente en zonas profundas donde requieran mayor caudal de aire.

Realizar un programa de monitoreo constante del caudal de aire en la chimenea 305 para verificar el desempeño de la chimenea realizada.

Realizar capacitación al personal para tener buenas eficiencias de trabajo y garantizar la seguridad en la construcción de chimeneas.

Mantener la buena logística en el abastecimiento de insumos para evitar retraso o para que no estén programas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIRRE, W. y MALLQUI DE LA CRUZ, A. *Influencia en la construcción de la chimenea 081 con Alimak para el mejoramiento del sistema de ventilación* [tesis de licenciatura en línea]. Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica, 2019. [Consulta: 8 diciembre 2025]. Disponible en: <https://repositorio.unh.edu.pe/items/c4748cc6-83bd-4835-b6c9-c13fa04de685>

ÁGUILA, R., GONZÁLEZ, L., GALDÁMEZ, J. y RAMOS, Y. *Perforación subterránea Raise Boring y Blind Holes* [informe técnico en línea]. 2016. [Consulta: 2 noviembre 2025]. Disponible en: https://kupdf.net/download/raise-borer-y-blind-hole-_5af71976e2b6f5a54abaebb5_pdf

ARIAS, F. *El proyecto de investigación*. Caracas: Editorial Episteme, 2006.

BALESTRINI ACUÑA, M. *Cómo se elabora el proyecto de investigación*. Caracas: BL Consultores Asociados, 2006.

BRAKE, R. *The importance of underground mine ventilation* [en línea]. Mine Ventilation Australia, 2006. [Consulta: 5 octubre 2025]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/297810462_The_importance_of_underground_mine_ventilation

CAJAHUANCA SÁNCHEZ, J. G. *Influencia del sistema Raise Boring en la ventilación de la zona I B NV 4530 de la veta Alexia* [tesis de licenciatura en línea]. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2019. [Consulta: 5 octubre 2025]. Disponible en: <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/5652>

CAMARGO DIAZ, G. y SEGURA GALINDO, D. E. *Desarrollo de una chimenea de ventilación en una mina ubicada al centro del Perú aplicando el sistema Raise Boring* [tesis en línea]. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2023. [Consulta: 1 octubre 2025]. Disponible en: <https://tesis.pucp.edu.pe/items/112652a0-a160-4aa0-b1e4-6535e5c24312>

CCANQUE, J. *Optimización del sistema de ventilación mediante Raise Boring en Cía Minera Alpayana S.A.* [tesis de licenciatura en línea]. Cusco: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, 2023. [Consulta: 1 noviembre 2025]. Disponible en: <https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/7518>



CENTENO, D. *Optimización de las labores de servicios con equipos Raise Boring en la unidad San Cristóbal de Bateas* [tesis de licenciatura en línea]. Apurímac: Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, 2016. [Consulta: 07 noviembre 2025]. Disponible en: <https://repositorio.unamba.edu.pe/items/2fc471be-b6ad-46a6-855d-dcf5e23b1799>

CISTERNAS, R. *Distribución de aire – ventilación minería subterránea* [en línea]. VDM Consultores, s. f. [Consulta: 6 setiembre 2025]. Disponible en: https://www.play.qualiconlatam.com/ayuda/VDM/Distribucion_de_aire_ventilacion_mineria_subterranea.pdf

COMPAÑÍA MINERA ALPAYANA S.A. *Sustento geológico sobre indicios de zonas de acumulación de gases* [informe técnico inédito]. Lima: Unidad Americana, 2024.

CURASMA, J. y TITO, E. *Optimización de operaciones en chimeneas con método Raise Climber en Mina Marsa*. Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica, 2015.

DANTE. *Optimización de las labores de servicios con la implementación con equipos Raise Boring para el incremento de la productividad de la E.E. Etramin S.R.L. en la unidad operativa San Cristóbal de Bateas (Caylloma - Arequipa) – 2016* [en línea]. Apurímac: Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, 2016. [Consulta: 1 setiembre 2025]. Disponible en: <http://repositorio.unamba.edu.pe/>

DEPARTAMENTO TÉCNICO PEDRAPLUS. *Raise boring* [en línea]. 2015. [Consulta: 1 setiembre 2025]. Disponible en: <https://victoryepes.blogs.upv.es/files/2015/06/RAISE-BORING-pedraplus.pdf>

ENCICLOPEDIA BRITANNICA. *Mining* [en línea]. 2025. [Consulta: 02 agosto 2025]. Disponible en: <https://www.britannica.com/technology/mining>

FONDRIEST STAFF. *What is Air Temperature?* [en línea]. 2010. [Consulta: 22 agosto 2025]. Disponible en: <https://www.fondriest.com/news/airtemperature.htm>



HUSTRULID, William A. y BULLOCK, Richard L. (eds.). *Underground Mining Methods: Engineering Fundamentals and International Case Studies*. Littleton, Colorado: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, 2001. 718 p. ISBN 978-0-87335-193-5.

HARRISON, J. V. The geology of the central Andes in part of the province of Junín, Perú. *Quarterly Journal of the Geological Society of London*. 1943, vol. 99, no. 1–4, p. 1-36. ISSN 0370-291X. Disponible en: <https://doi.org/10.1144/GSL.JGS.1943.099.01-04.02>

INTERGOVERNMENTAL FORUM ON MINING. *How can technology in mining protect the environment?* [en línea]. 2019. [Consulta: 13 mayo 2026]. Disponible en: <https://www.igfmining.org/how-can-technology-in-mining-protect-the-environment/>

MATOS ROJAS, K. *Aplicación del método de explotación corte y relleno ascendente semimecanizado para mejorar la productividad en la veta Ximena en los niveles 18 y 19 en la E.C.M. Gestión Minera Integral S.A.C. - Compañía Minera Alpayana* [tesis en línea]. Huancayo: Universidad Continental, 2022. [Consulta: 25 junio 2025]. Disponible en: <https://repositorio.continental.edu.pe/item/51c9a893-9ffe-43f9-83a1-ce368f0cea1c>

MEDINA QUEZADA, C. A. *Estudio comparativo técnico–económico de diseño de chimenea Mina Pajonales* [tesis de licenciatura en línea]. Santiago: Universidad Andrés Bello, 2020. [Consulta: 13 mayo 2026]. Disponible en: <https://repositorio.unab.cl/items/51977d4d-84ca-4283-ae56-1cff7c9affcc>

MONTAÑO, J., RINCÓN, J., VARGAS, W. y ALVARADO, H. Incremento del desempeño del sistema de perforación y voladura en la explotación minera El Lucero. *Bistua Revista de Ciencias Básicas* [en línea]. 2023, vol. 19, n.º 1, pp. 70–74. [Consulta: 15 mayo 2025]. DOI: 10.24054/bistua.v19i1.946

MUÑOZ LÓPEZ, H. U. *Equipos de excavación mecanizada en minería subterránea* [tesis de maestría]. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2022 [consulta: 15 mayo 2025]. Disponible en: <https://repositorio.unam.mx/contenidos/ficha/equipos-de-excavacion-mecanizada-en-mineria-subterranea-3661277>

PERÚ. MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS. *Decreto Supremo N° 023-2017-EM: Modifican diversos artículos y anexos del Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en*



Minería, aprobado por Decreto Supremo N° 024-2016-EM [en línea]. Lima: El Peruano, 18 de agosto de 2017. [Consulta: 24 junio 2025]. Disponible en: <https://busquedas.elperuano.pe/dispositivo/NL/1555418-2>

BANCO CENTRAL DE RESERVA DEL PERÚ (BCRP). *Memoria Anual: Evolución de la actividad económica nacional y balanza comercial*. Lima: BCRP, 2024. Disponible en: <https://www.bcrp.gob.pe/>

PYBAR MINING SERVICES PTY LTD. *SBM 450 raise boring* [en línea]. s. f. [24 junio 2025]. Disponible en: <https://pybar.com.au/equipment/sbm-450/>

SOLER & PALAU. *Fórmula para calcular el caudal de aire* [en línea]. 2024. [Consulta: 24 junio 2025]. Disponible en: <https://www.solerpalau.com/blog/es-es/formula-caudal/>

SUVIZARRETA ESPINOZA, J. *Diseño y construcción de la chimenea 017 para mejorar la ventilación en la rampa 440* [tesis de licenciatura en línea]. Cusco: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, 2023. [Consulta: 24 junio 2025]. Disponible en: https://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/7889/253T20230496_TC.pdf

TAMAYO Y TAMAYO, M. *El proceso de investigación científica*. México D.F.: Limusa, 2003.

TECNOLOGÍA MINERA. *Evolución de la perforación Raise Boring en minería moderna* [en línea]. 2024. [Consulta: 16 junio 2025]. Disponible en: <https://tecnologiaminera.com/noticia/como-ha-sido-la-evolucion-de-la-perforacion-raise-boring-en-la-mineria-moderna-1744234825>

TORRES HUMIRI, C. V. *Selección de métodos de explotación para vetas angostas* [en línea]. Puno: Universidad Nacional del Altiplano, 2019. [Consulta: 16 junio 2025]. Disponible en: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/12580>

VERA WARTHON, E. R. *Implementación y simulación del sistema de ventilación con VentSim Visual* [tesis de licenciatura en línea]. Apurímac: Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, 2022. [Consulta: 16 junio 2025]. Disponible en: <https://repositorio.unamba.edu.pe/items/70a8b3e7-fa2e-491a-acca-79dbf5a4041c>



VÍLCHEZ. *Ejecución de chimeneas mediante sistema Alimak y Raise Boring* [en línea]. 2015. [Consulta: 29 junio 2025]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/slideshow/ejecucin-de-chimeneas-mediante-sistema-alimak-y-raise-borer/46895183>

WESTDARY. *Definición de calor y temperatura* [en línea]. 2025. [Consulta: fecha de acceso]. Disponible en: <https://definicionwiki.com/definicion-de-calor-la-temperatura-ejemplos-segun-autor-que-es-concepto-significado/>

YEPES, V. *Raise boring: procedimiento constructivo* [en línea]. 2015. [Consulta: 29 junio 2025]. Disponible en: <https://victoryepes.blogs.upv.es/2015/12/04/raise-boring/>

ZADEH, J. *Raise bore drilling: revolutionizing mining shafts* [en línea]. 2025. [Consulta: 29 junio 2025]. Disponible en: <https://discoveryalert.com.au/news/raise-bore-drilling-australian-mining-2025/>

ZHONGTING. *Comprender la velocidad del flujo de aire* [en línea]. 2023. [Consulta: 29 junio 2025]. Disponible en: <https://ztfilterbag.com/es/compression-flujo-de-aire-velocidad/>



ANEXOS



Anexo A

Tabla 18 — Matriz de consistencia

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Indicadores	Metodológica
Problema general ¿Cómo influye la aplicación del método Raise Boring en la mejora del sistema de ventilación en la chimenea 305 en la Unidad Minera Americana de la Compañía Minera Sobre Andes - 2025? Problemas específicos • ¿Cuál es el estado actual del sistema de ventilación antes de la aplicación del método Raise Boring en la Unidad Minera Americana de la Compañía Minera Sobre Andes – 2025? • ¿Cuál es el proceso técnico de ejecución del método Raise Boring aplicado a la chimenea 305 de la Unidad Minera Americana de la Compañía Minera Sobre Andes – 2025? • ¿Cuál es el estado final del sistema de ventilación de la chimenea 305, después de la aplicación del método Raise Boring en la Unidad Minera Americana de Compañía Minera Sobre Andes – 2025?	Objetivo general Determinar la influencia de la aplicación del método Raise Boring en la mejora del sistema de ventilación en la chimenea 305 en la Unidad Minera Americana de la Compañía Minera Sobre Andes - 2025. Objetivos específicos • Analizar el estado actual del sistema de ventilación antes de la aplicación del método Raise Boring en la Unidad Minera Americana de la Compañía Minera Sobre Andes – 2025. • Describir el proceso técnico de ejecución del método Raise Boring aplicado a la chimenea 305 de la Unidad Minera Americana de la Compañía Minera Sobre Andes – 2025. • Cuantificar el estado final del sistema de ventilación de la chimenea 305, después de la aplicación del método Raise Boring en la Unidad Minera Americana de Compañía Minera Sobre Andes – 2025.	Hipótesis general La aplicación del método Raise Boring en la mejora significativamente el sistema de ventilación en la chimenea 305 en la Unidad Minera Americana de la Compañía Minera Sobre Andes - 2025. Hipótesis específicas • El estado actual del sistema de ventilación tiene deficiencias antes de la aplicación del método Raise Boring en la Unidad Minera Americana de la Compañía Minera Sobre Andes – 2025. • El proceso técnico de ejecución del método Raise Boring aumenta la eficiencia en la chimenea 305 de la Unidad Minera Americana de la Compañía Minera Sobre Andes – 2025. • El estado final del sistema de ventilación presenta mejoras significativas en el sistema de ventilación de la chimenea 305, después de la aplicación del método Raise Boring en la Unidad Minera Americana de Compañía Minera Sobre Andes – 2025.	Variable Independiente X: Aplicación del método Raise Boring.	Indicadores de X - Tiempo total de construcción. - Diámetro y longitud de chimenea - Costos de construcción por metro.	Tipo: Aplicada (Tamayo y Tamayo, 2003). Nivel: Explicativo (Arias, 2006). Diseño: Pre experimental (Arias, 2006). Población: conformada por todas las chimeneas construidas con el método Raise Boring en la unidad minera. Muestra: conformada por la chimenea 305 que va desde el Nivel 21 al Nivel 23 para mejora de la ventilación Técnicas: Técnica del análisis documental. Técnica del Fichaje. Instrumentos: Reportes e informes. Fichas de investigación.
			Variable Dependiente Y: Mejora de la ventilación.	Indicadores de Y - Caudal igual a velocidad por sección. - Velocidad del flujo de aire. - Temperatura.	

Anexo B

Nivel 21

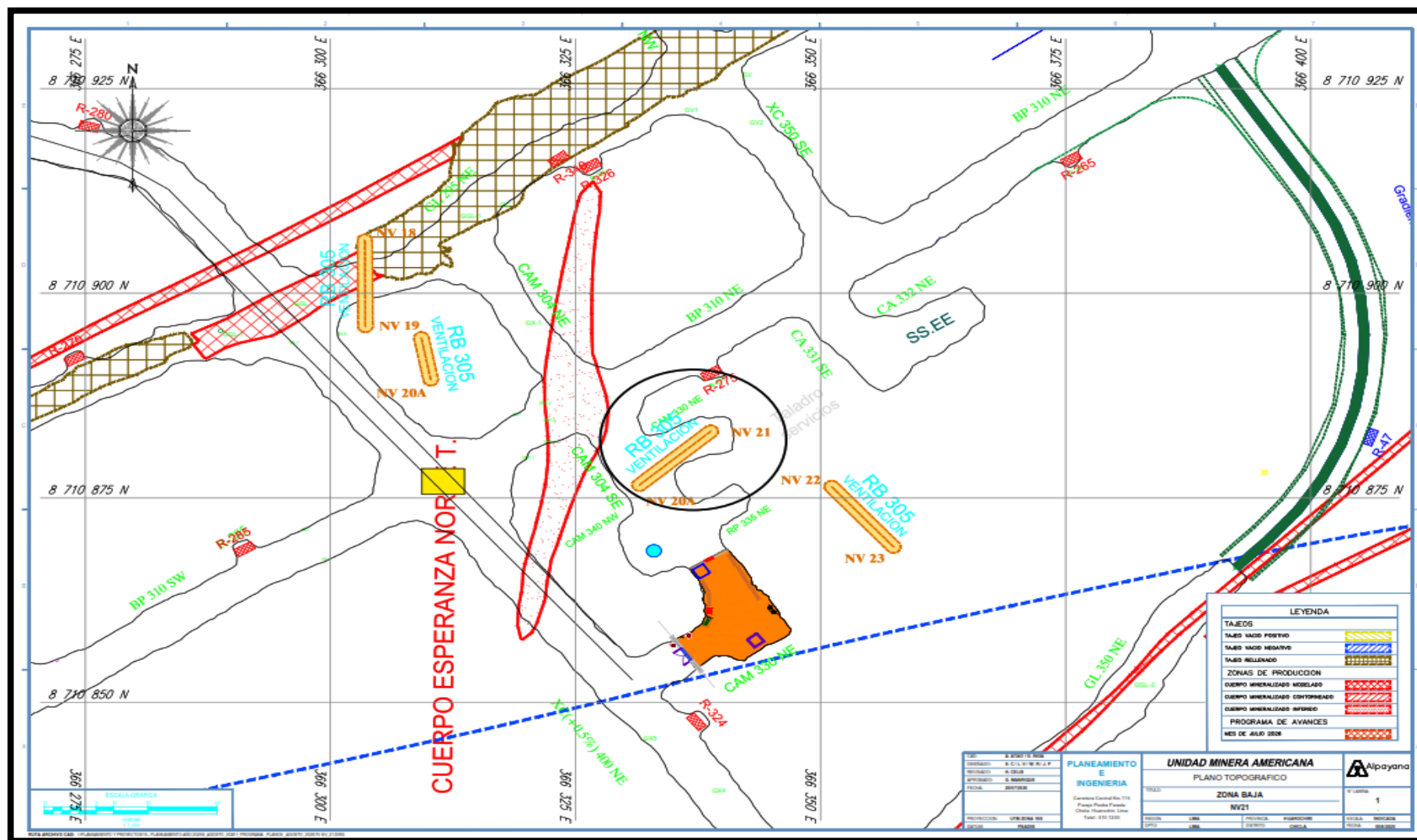


Figura 19 — Topografía nivel 21

Anexo C

Nivel 22

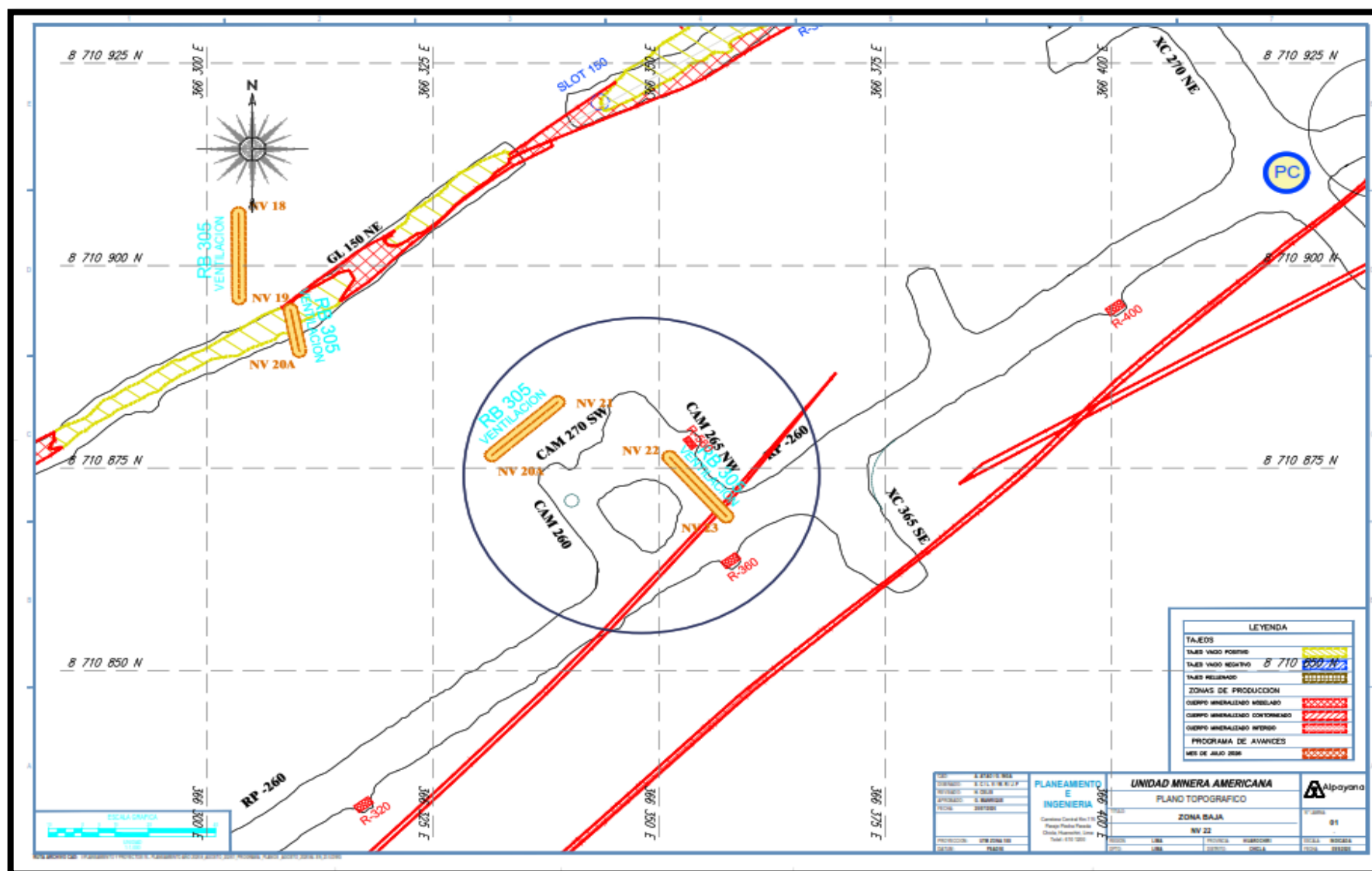


Figura 20 — Topografía nivel 22

Anexo D

Nivel 23

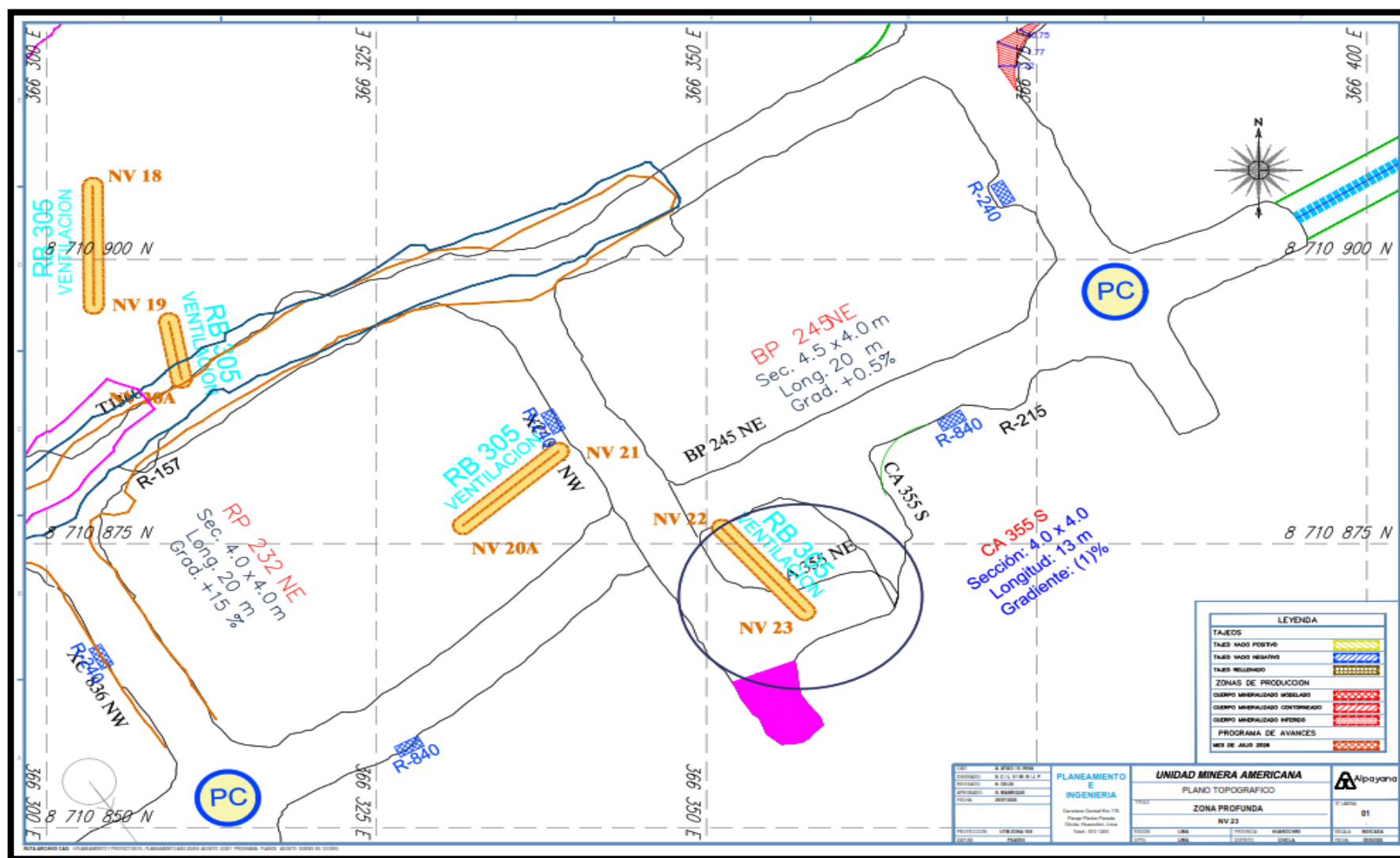


Figura 21 — Topografía nivel 23

Anexo E

Mapeo geomecánico

	SISTEMA DE GESTION INTEGRADO MASSTC		CÓDIGO	FEO-A-GM-01-01
	MAPEO GEOMECANICO DE LABOR OPERATIVA		VERSION	01
			PAGINA	1 de 1

DATOS DE CLASIFICACION GEOMECANICA

 ZONA: Cuerpos
 LABOR: NIV. 21 CAM 330 NE

 REALIZADO POR: _____
 FECHA: _____

Nº ESTACION		ORIENTACION DE LA CARA		TRAMO		VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.A.)										
01		N 10E		VC 400NE CAM 330 NE												
Arenisca		Epidota		7-12												
TIPO	ORIENTACION	ESPACIAMIENTO	TIPO	ESPESES	PERSISTENCIA											
MF	170	77	3	Mi. col.	0.02m	3-10										
D	165	88	3	col.	0.03m	3-10										
D	175	87	3	—	—	3-10										
D	20	79	3	—	—	3-10										
D	140	83	2	—	—	3-10										
D	167	81	2	—	—	3-10										
D	325	76	3	col.	0.05m	3-10										

PARAMETRO	VALOR ESTIMADO	VALORACION
R. COMP. UNIBAL (Map)	100-250 (12)	7
RQD %	75-90 (17)	13
ESPACIAMIENTO (m)	0.6-2 (15)	10
PERSISTEN.	1-3 m Long. (4)	2
CONOCION DE JUNTAS	1-3 mm (1)	1
AGUA SUBTERRANEA	1-3 mm (1)	5
AJUSTE POR ORIENTACION DE ESTRUCTURAS	-5	
VALOR TOTAL RMR (valoraciones - Ajustes)	51	

CLASE DE MACIZO ROCOSO				
RMR	100-81	80-61	60-41	40-21
DESCRIPCION	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA

GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO RESIS. COMP. Mpa
R1	Desmenuzable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desmenuza con una cuchilla	1.0 - 5.0
R2	Se desmenuza con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5 - 25
R3	No se raya ni desmenuza con cuchilla. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25 - 50
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo	50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100 - 250
R6	Solo se rompe esquinas de la muestra con el martillo	> 250



ABREVIACION DE TIPO DE ROCA	
ME	MINERAL
PZ	PIZARRA
And	PORF. AND
Ba	BRECHA
TI	TUFO
Lv	LAVA DACT.

ABREVIATURAS DE TIPOS DE ESTRUCTURAS	
D	SISTEMA DE DIACLASA
Fm	SISTEMA DE FALLAS
C	CONTACTO
MF	MACIZO FALLA

GRADO	INDICE DE INTemperIZACION DESCRIPCION
I SANA	Ningún signo de intemperismo en el material rocoso. Quizás lig. De coloración sobre superficies de discontinuidades principales
II LIGERO	La decoloración indica intemp. del material rocoso y superf. de disc. El material rocoso decolorado extremadamente es más débil que en su condición sana.
III MODERADA	Menos de la mitad del mat. rocoso está descomposto y/o desintegrado a un suelo la roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleo rocoso.
IV MUY INTEN.	Más de la mitad del mat. rocoso está descomposto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco discontinuo como núcleo rocoso.
V DESCOMPU.	Todo el material rocoso está descomposto y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa rocosa aun se conserva intacta.

ABREVI. ESPACIAMIENTO	
1	> 2 m
2	0.6 - 2 m
3	0.2 - 0.6 m
4	0.06 - 0.2 m
5	< 0.06 m

ABREVIATURAS DE TIPOS DE RELLENO	
Os	OXIDOS
Sul	SULFATO
Py	PYRITA
Prn	PANZO
Cal	CALCITA
Arc	ARCILLA
Ba	BRECHA
Ser	SERICITA

COMENTARIOS ADICIONALES	
Roca Fracturada de Resistencia Regular de tipo III A.	

CORRECCION POR ORIENTACION DE LAS ESTRUCTURAS							
DIRECCION PERPENDICULAR AL EJE DE LA LABOR				DIRECCION PARALELA AL EJE DE LA LABOR			
EXCAVACION CON EL BUZAMIENTO		EXCAVACION EN CONTRA EL BUZAMIENTO		EXCAVACION CON EL BUZAMIENTO		EXCAVACION EN CONTRA EL BUZAMIENTO	
BUZ 45° - 90°	= 0	BUZ 20° - 45°	= -2	BUZ 45° - 90°	= -5	BUZ 20° - 45°	= -10
MUY FAVORABLE		FAVORABLE		MEDIA		DESFAVORABLE	

Anexo G
Cronograma de trabajos

CRONOGRAMA RAISE BORING										ENERO				FEBRERO				MARZO				ABRIL				MAYO			
EQUIPO	N° RB	DIAMETRO	LONG.	ANGULO	NIVELES	ZONA	NIVEL	LABOR	Cant. Prog.				4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
SBM	(RB 305)	2.4	113	80°	NV21 AL NV 23	CUERPO MERY	23	Avance XC 837 NW (pie del RB)	45																				
							23	Avance del XC 355 NE (pie del RB)	12																				
							21	Avance CAM 330 NE (cabeza de RB)	25 m																				
							21	Ampliacion Camara RB. (CAM 330 NE)	10 m																				
							21	Poza de agua CAM 330 NE	15 m																				
							21	Sostenimiento Cam. y Loza RB																					
							21	Intalaciones y cableado electrico																					
							21	Traslado Equipo																					
							21	Instalacion Equipo RB																					
							21	Perforacion Taladro Piloto	113 m																				
							23	Desquinche XC 355 NE Pie de RB																					
							23	Traslado Piña Rimadora al NV 21																					
							21	Rimado	113 m																				

Figura 22 — Cronograma de trabajo previos y perforación en chimenea 305

Anexo H
Costo por metro lineal de avance

RB 305 (Ø=2.40m L=113.00m)	CANTIDADES				VALORIZACIONES			
	UND	Abr-25	May-25	TOTAL	PU USD	Abr-25	May-25	TOTALVAL.
MOVILIZACIÓN DE EQUIPOS	Glb	1.00			1173.00	1173.00		2346.00
INDUCCIÓN DE PERSONAL	Glb	1.00			3600.00	3600.00		7200.00
INSTALACIÓN DE EQUIPO	Dia	1.00		1.00	1619.13	1619.13	0.00	1619.13
BOMBAS DE AGUA	Mes	0.50	0.50	1.00	2500.00	1250.00	1250.00	2500.00
EXCAVACIÓN PILOTO	m.	20.00	93.00	113.00	302.00	6040.00	28086.00	34126.00
ADITIVOS DE PERFORACIÓN	Balde	3.00	6.00	9.00	127.00	381.00	762.00	1143.00
CONEXIÓN DEL ESCARIADOR	Dia	0.50		0.50	1619.13		809.57	809.57
RIMADO DE CHIMENEA DIAM. 2.4	m.	0.00	113.00	113.00	602.68		68102.84	68102.84
LIMPIEZA DE CARGA DURANTE RIMADO	Hora	0.00	10.00	10.00	83.00		830.00	830.00
LIMPIEZA DESQUINCHE DE PIE DE TRABAJO	Hora	1.00	1.00	7.00	83.00		83.00	83.00
STAND BY	Hora	0.00		0.00	127.13		0.00	0.00
DESMONTAJE Y TRASLADO DE EQUIPOS	Dia	0.00	7.00	7.00	1619.13		11333.91	11333.91
RECLAMO POR PARALIZACION	Glb	0.00			2259.99		0.00	0.00
MOVILIZACIÓN Y DESMOVILIZACIÓN DE PERSONAL	Glb		2.00		6500.00		13000.00	
COSTO DIRECTO	Glb	1.00				1406.31	3009.80	4416.11
COSTO INDIRECTO	Glb	1.00				1546.82	3611.76	5158.58
TOTAL						17016.26	130878.88	139668.13
EFICIENCIA DE AVANCE EXC. PILOTO	Dia	14.00	8.07	m/dia				
EFICIENCIA DE AVANCE EXC. RIMADO	Dia	19.00	5.95	m/dia				
COSTO POR METRO EN RB-074			1236.00	USD/m				

Figura 23 — Precios unitarios por metro lineal de avance en chimenea 305

Anexo I

Estándar de construcción de cámara

	ESTÁNDAR CONSTRUCCION DE LA CAMARA RB		UEA SOBREANDES
	Código: SDS-PI-EST 01	Versión: 01	
	Fecha de Elaboración: 14/01/2025	Página: 5	

1. OBJETIVO

Establecer las dimensiones y el diseño de construcción de la cámara RB para que Solumaq Raise Boring pueda desarrollar los proyectos Raise Borer cumpliendo los parámetros operacionales y de seguridad.

2. ALCANCE

A todo el personal de la E.E. Solumaq Raise Boring y a los colaboradores que realicen la preparación de la cámara RB de la U.M. Americana.

3. REFERENCIAS LEGALES Y OTRAS NORMAS.

1.1 Política de seguridad y salud ocupacional

1.2 Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en minería D.S. 024-2016-EM. y su modificatoria
D.S. 023-2017 EM Art. 127.

1.3 Ley 29783, ley de seguridad y salud en el trabajo. Art 20 (b), (c).

1.4 Norma ISO 45001 – 2018 (Requisito 8.1)

1.5 Norma ISO 9001-2015 (Requisito 8.1)

4. DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

- **Cámara RB:** Excavación subterránea destinada a montar y operar la máquina raise boring para perforar el piloto hole y realizar el reaming. Incluye área de máquina, zona de barras, área de control y accesos / servicios
- **Plataforma:** Superficie nivelada, resistente y anclada donde se instala el base frame de la RB. Controla asentamiento y garantiza alineación.
- **Colar / Collar de chimenea:** Punto exacto (cordenadas y cola) donde arranca el piloto hole. Normalmente ubicado en el eje del plinto
- **Ejes de referencia (X;Y;Z):** Sistema de control geométrico usado para replanteo, alineación y verificación de verticalidad / inclinación del piloto.
- **Pendiente y drenaje de piso:** Inclinación diseñada 1 – 2 % para evacuar agua / lodos hacia cuneta y poza de bombeo de agua.
- **Áreas de exclusión:** Perímetro señalizado donde solo ingresa personal autorizado durante izaje, torqueo y perforación.

5. ESPECIFICACIONES DEL ESTANDAR

5.1. Sostenimiento de la cámara RB

La cámara RB debe estar sostenida en su totalidad de acuerdo con el tipo de roca en el cual se prepara la cámara, el área de Geomecánica determina el sostenimiento a aplicar previa evaluación del terreno.

Figura 24 — Objetivos y especificaciones construcción de la cámara

5.2 Ventilación

La cámara RB debe tener una ventilación optima con una circulación de aire limpio y fresco en cantidad y calidad suficientes de acuerdo con el número de trabajadores, la velocidad del aire no debe ser menor a 20m/min y el oxígeno en el ambiente no debe ser menor al 19.5%.

5.3 Iluminación

La cámara RB debe estar iluminada en su totalidad, toda la cámara, pozas y accesos.

5.4 Cámara RB

La dimensión de la cámara RB se establece en función de la dimensión de la maquina RB y sus unidades de poder, para la unidad la dimensión de la cámara RB es:

MAQUINA	AREA (m)	ALTURA (m)
SBM 450	5 X 5	6.5
71 RAC	6 X 6	7

Tabla 1 DIMENSIONES DE LA CAMARA RB SEGÚN DIMENSIÓN DE MAQUINA RB

- ✓ Se realiza dos filas de taladros de servicios de 2 pies en el contorno de la cámara RB, en los hastiales para la instalación de mangueras y cables eléctricos, la primera fila se perfora a 1.8m con respecto al piso de la cámara RB y la segunda fila a 2.0m. Las perforaciones estarán separadas horizontalmente a 1.5m una de otras.
 - ✓ En la corona de la cámara RB se realiza la perforación de 6 taladros de servicios de 5 pies para la instalación de los pernos cola de chanco, la perforación es en “V” alrededor del eje central del proyecto marcado por topografía, cada taladro debe estar a 20cm de separación y formar la figura “0”.
 - ✓ En los hastiales en dirección norte, sur, este y oeste se perfora 4 taladros de 5 pies para el alineamiento de la maquina al momento de ser izada, los taladros deben estar separados a una distancia de 20cm y deben ser perforados en forma de “∇”.
 - ✓ La cámara RB debe contar con equipos de respuesta a emergencias como; extintor PQS, lava ojos, botiquín y camilla.
 - ✓ Todas las sustancias químicas almacenadas en la cámara deben contar con la rotulación, deben tener sus hojas de datos de seguridad (MSDS) en lugares visibles y contar con bandejas de contención de derrames.
 - ✓ La cámara RB debe estar completamente señalizada.
 - ✓ En la cámara RB se coloca una caja de herramientas con todas las herramientas necesarias para la operación, la caja de herramientas se coloca sobre un piso firme y libre de ingreso de agua o lodos.
 - ✓ En la cámara RB se coloca la unidad eléctrica en un área libre donde el personal técnico tenga libre acceso para los trabajos en la unidad eléctrica, esta unidad se coloca sobre tablas o durmientes nivelados horizontalmente y en un lugar donde no haya riesgo de colisión u obstrucción de ingreso a la cámara RB.
- En la cámara RB se coloca la unidad hidráulica en un área libre donde el personal técnico tenga libre acceso para los trabajos en la unidad hidráulica, esta unidad se coloca sobre tablas o durmientes nivelados horizontalmente y en un lugar donde no haya riesgo de

Figura 25 — Iluminación y dimensiones de cámara

- ✓ colisión u obstrucción de ingreso a la cámara RB
- ✓ Dentro de la cámara RB se designa un área para el apilamiento de barras en el cual se coloca un riel de tablas separadas a 75cm entre sí, las tablas se aseguran con clavos colocando en cada unión de tablas una tabla transversalmente y clavando las tablas que se unen a la tabla colocada.
- ✓ Con el detritus de la perforación piloto se nivelará el piso de la cámara RB.

5.5 Loza de concreto

- ✓ Para la maquina SBM 450, la loza tendrá una dimensión de 3mx3m y una altura de 30cm desde el nivel del piso.
- ✓ Para la maquina 71RAC, la loza tendrá una dimensión de 5mX5m y una altura de 30cm desde el nivel del piso.
- ✓ El vaciado de la loza se realizará sobre roca firme, previa colocación de una capa fina de cemento (lechada).
- ✓ La loza debe ser de cemento con resistencia de 25Mpa.
- ✓ La loza debe contar con una cuneta de 30cm(ancho)X30cm(profundidad) y de la longitud que se necesite para unir el medio de la loza y el ingreso de la poza de bombeo, esto será necesaria para evacuar el agua de retorno hacia la poza de sedimentación.

5.6 Poza de bombeo

- ✓ La dimensión de la poza para la maquina SBM 450 es de 3m (Ancho) x 5m (Largo) x 1.3m (profundidad) con una gradiente de -15%, esta debe tener una división y un entablado con las barandas de seguridad.
- ✓ Para la maquina SBM 450, la capacidad de la poza de acumulación de agua debe ser de 9750 litros.
- ✓ La dimensión de la poza para la maquina 71RAC es de 3m (Ancho) x 10m (Largo) x 2.7m (profundidad) con una gradiente de -15%, esta debe tener dos divisiones y un entablado con las barandas de seguridad.
- ✓ Para la maquina 71RAC, la capacidad de la poza de acumulación de agua debe ser de 40500 litros.
- ✓ La poza de bombeo debe ser construida a 15m como máximo de la cámara RB
- ✓ La poza debe estar sostenida en su totalidad de acuerdo con la recomendación del área de Geomecánica.
- ✓ La poza debe tener implementado, chalecos salvavidas y debe tener un punto de izaje de la bomba instalado de acuerdo con el entablado de la poza.
- ✓ Se debe contar con 1 bomba de agua para la perforación.

5.7 Servicios eléctricos

- ✓ Se realiza un nicho de 2.0m (Alto) x 2.0 (Ancho) x 1.50m (Profundidad), para las cajas eléctricas.
- ✓ En el nicho se perfora 6 taladros de 4 pies con un diámetro de Ø 38mm, en 2 filas de 3 cada uno, para la instalación del rack, los taladros estarán distanciados horizontalmente a 1m y verticalmente a 0.6m.
- ✓ En el nicho se instala la línea a tierra, con una varilla de cobre.
- ✓ El nicho debe contar con el sostenimiento completo de acuerdo con la recomendación de Geo mecánica.
- ✓ Se designa un transformador de la capacidad que sea necesaria para asegurar que la maquina SBM 450 Y 71RAC reciban 450KVA y 460V el cual debe estar colocado a 150m como máximo de la maquina RB.
- ✓ Se usa un cable eléctrico de 4 núcleos de Ø 95mm² para la instalación eléctrica de la caja

Figura 26 — Loza, poza de bombeo y servicios eléctricos de la cámara

- ✓ Todos los cables eléctricos estarán codificados de acuerdo con el Anexo 17 del D.S. 024 EM 2016.
- ✓ Todas las cajas de arranque deben contar con un diferencial y su bloqueo debe ser externo en cumplimiento del estándar de la unidad minera Americana.
- ✓ Toda la instalación eléctrica debe tener un circuito cerrado de línea a tierra.
- ✓ La instalación eléctrica debe estar a cargo de CIA.

5.7 Servicios de agua y aire

- ✓ Se instala una línea de aire de 2 pies a una distancia máxima de 30m de la máquina RB.
- ✓ Se instala una línea de agua de 2 pies a una distancia máxima de 30m de la máquina RB.
- ✓ Las tuberías de agua y aire deben contar con una válvula de bloqueo a una distancia máxima de 15m.
- ✓ La presión del aire requerido es de 6 bares.
- ✓ Las instalaciones de agua y aire se realizan con alcayatas previamente instaladas en la cámara RB de acuerdo con la distribución de la cámara RB.

5.8 Pie del RB

- ✓ Para la preparación del pie del RB se tomará en cuenta las dimensiones de los escariadores de acuerdo con el siguiente cuadro:

ESCARIADOR (m)	AREA (Ancho X Largo) (m)	ALTURA (m)
1.5	3.5 X 6	3.5
2.4	4.5 X 6	4.5
3.1	5.0 X 6	4.5

Tabla 2 DIMENSIONES DEL PIE DE LA CAMARA RB SEGÚN LAS DIMENSIONES DEL ESCARIADOR

- ✓ El pie del RB debe estar sostenido en su totalidad según la recomendación de Geomecánica del titular minero.
- ✓ Debe estar iluminado.
- ✓ Debe tener una ventilación óptima con una circulación de aire limpio y fresco en cantidad y calidad suficientes de acuerdo con el número de trabajadores, la velocidad del aire no debe ser menor a 20 m/min y el oxígeno en el ambiente no debe ser menor al 19.5% ni mayor a 22.5%, pudiendo aplicar ventilación mecánica o natural.
- ✓ La cara del techo del pie del RB debe ser plano y perpendicular al ángulo del proyecto RB.
- ✓ Se perfora 4 taladros de 5 pies de un diámetro de Ø 38mm en la dirección norte, este y oeste del pie del RB en los hastiales a una distancia de 1.5m con respecto al piso del pie del RB, estos taladros deben estar separados entre sí por 20 cm y se perforan en la forma “◇”
- ✓ Se debe contar con conexiones eléctricas para el teléfono de emergencia.
- ✓ Deberá contar con tres barreras: Delimitación (señalización tipo banderines), barrera rígida (malla electrosoldada y candado) Barrera para el polvo (manga de ventilación y/o geomembrana), ubicado a 6 metros como mínimo de la línea de fuego de la chimenea.
- ✓ Deberá contar con puntos de energía de 220V y 440V.
- ✓ Deberá contar con los servicios de agua y aire a una distancia promedio de 30m.
- ✓ Durante la habilitación de la Cámara RB se tendrá en cuenta las inspecciones a los riesgos críticos según formato SDS-PI-EST 27-F19 INSPECCIÓN DE CAMARA RB

1. RESPONSABILIDADES

1.1 GERENTE DE OBRA Y/O OPERACIONES:

Figura 27 — Servicios de agua y aire y pie de Raibor en la cámara



- ✓ Responsable de brindar los recursos para el cumplimiento del estándar.
- ✓ Coordinar con el cliente las necesidades para el cumplimiento del presente estándar.
- ✓ Aprobar el presente estándar.

1.1 INGENIERO DE SEGURIDAD:

- ✓ Responsable de verificar el cumplimiento el presente estándar.
- ✓ Evaluar el cumplimiento y conocimiento del presente estándar

1.2 SUPERVISOR:

- ✓ Responsable de cumplir y hacer cumplir el presente estándar.
- ✓ Verificar que el personal cuente con el recurso necesario para cumplir el presente estándar.
- ✓ Supervisar los trabajos que comprendan el cumplimiento del presente estándar.
- ✓ Capacitar y/o difundir el presente estándar

1.3 TRABAJADORES:

- ✓ Responsables de la ejecución de los trabajos y cumplimiento del estándar.
- ✓ Reportar cualquier incidente o accidente durante el cumplimiento del presente estándar.
- ✓ Reportar cualquier oportunidad de mejora del presente estándar.
- ✓ Cuidar y dar uso adecuado de los recursos para el cumplimiento del presente estándar.

2. REGISTROS, CONTROLES Y DOCUMENTACIÓN

- SDS-PI-EST 27-F19 INSPECCIÓN DE CAMARA RB

3. REVISION Y MEJORAMIENTO CONTINUO

Las revisiones del presente estándar se harán en forma anual y/o cuando se produzcan cambios significativos en las operaciones o en las Normativas Legales.

- ✓ Se modifico el 5.9 de acuerdo al presente contrato, donde se designó realizar proyectos de 1.5m, 2.4m y 3.1m.

ELABORADO POR:	REVISADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
			
ENER PIÑAS MENDOZA	MARCO A VELASQUEZ ATENCIO	NILTON ALANYA MARI	JOHN ALEJOS HUAMÁN
SUPERVISOR RB	INGENIERO DE SEGURIDAD	GERENTE DE OBRA	GERENTE DE OPERACIONES
FECHA: 14/01/2025	FECHA: 15/01/2025	FECHA: 15/01/2025	FECHA: 16/01/2025

Figura 28 — Responsabilidades de gerente obra y operaciones

Anexo J

Estándar empate y perforación piloto

	ESTÁNDAR EMPATE Y PERFORACION PILOTO		UEA SOBREANDES
	Código: SDS-PI-EST 03	Versión: 01	
	Fecha de Elaboración :18/01/2025	Página: 4	

1. OBJETIVO

Establecer las normas que permitan minimizar o eliminar los peligros existentes durante el empate y perforación piloto

2. ALCANCE

A todo el personal de la división de Raise Boring de la E.E. SOLUMAQ RAISE BORING.

3. REFERENCIAS LEGALES Y OTRAS NORMAS.

1.1 Política de Seguridad y Salud Ocupacional

1.2 Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional D.S. 024-2016-EM. Art. 98, 99, 346, 347, 348, 349, 350, 351.

1.3 Reglamento Interno de Seguridad y Salud Ocupacional de Solumaq.

1.4 Ley 29783, Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo.

1.5 D.S. 005-2012, Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo.

4. DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

- **Empate (Breakthrough / Unión de labores):** es la unión física entre la cámara de Raise Boring (nivel superior) y la labor de recepción (nivel inferior o destino del pilot hole). Consiste en ejecutar con precisión la labor receptora para interceptar el eje de perforación planificado.
- **Labor de recepción:** Galerí, pique o cuneta inferior preparada para recibir la broca piloto y posteriormente evacuar detritos del reaming.
- **Replanteo topográfico:** Determinación del punto de llegada exacto, coordenadas y cota del pilot hole.
- **Tolerancia de empate:** Offset horizontal: típicamente +- 0.3 m (según estándar). Offset vertical +- 0.2 m a +- 0.5 m. Angulo +- 0.5° - 1°
- **Sostenimiento y dimensiones mínimas:** Debe garantizarse sección suficiente para recibir la sarta y manipular detritos sin comprometer la estabilidad.
- **Controles QA/QC:** Levantamiento topográfico antes de perforar. Confirmación de estabilidad y sostenimiento de la labor de recepción. Acta de conformidad de alineamiento.
- **Perforación piloto (pilot hole drilling):** La perforación piloto es la primera etapa operativa del raise boring, consiste en perforar un taladro de menor diámetro (normalmente 9° - 12° / 229 – 305 mm, según máquina) desde la cámara hacia la labor de recepción. Este taladro guiará posteriormente al escareador (reamer)

5. ESPECIFICACIONES DEL ESTANDAR

5.1 Asignación de componentes de Piloto

Se debe contar con los siguientes componentes:

- ✓ 01 anillo de empate con la diferencia de 1mm respecto al diámetro del bit sat.
- ✓ 01bit sat 1, con una válvula Check.

Figura 29 — Objetivos, alcances y referencias del estándar empate y perforación piloto

- ✓ 01 Tricono de 9". SBM 450 / 11" 71 RAC
- ✓ 01 llave de Tricono (trébol).
- ✓ 03 anillos calibradores, cuyas medidas serán igual al diámetro estándar del Tricono e irá disminuyendo 1mm cada uno.
- ✓ El Anillo de empate debe ingresar perfectamente en la mesa de trabajo con un juego lateral máximo de 1mm.
- ✓ Las Maquina RB 43 RAC / 71 RAC deben estar funcionando correctamente, con prueba de recorrido en vacío.

5.2 Empate

- ✓ Está considerado como empate piloto la perforación hasta los 2m a 6m de profundidad
- ✓ Asegurase que no exista presión de la máquina, liberando presión con la válvula de alivio.
- ✓ Calibrar todos los componentes de piloto.
- ✓ Acoplar la barra guía al Tricono, enroscar a mano.
- ✓ Torquear el Tricono y el bit sat con el trébol sobre la mesa de trabajo.
- ✓ Instalar el anillo de empate sobre la mesa de trabajo
- ✓ Acoplar y Torquear el bit sat a la caja flotante y la barra de un pie.
- ✓ Bajar el Derrick hasta que el Tricono tenga contacto con el piso de concreto y abrir el flujo de agua.
- ✓ Fijar la velocidad de rotación en 14rpm (lenta) y pulsar el botón forward para realizar la perforación de empate.
- ✓ La penetración debe tener una velocidad de avance de 50 mm a 60 mm en 6 minutos perforando el piso sólido.
- ✓ Una vez alcanzado que el flat superior del bit sat lleguen a nivel de la mesa de trabajo, detener la perforación y levantar el Derrick.
- ✓ Retirar todo el equipo de empate.
- ✓ Instalar los componentes de perforación en la siguiente secuencia: Tricono – Bit sat – Estabilizador de piloto.
- ✓ Perforar hasta lograr 2m a 6m metros de perforación, aumentando estabilizadores de piloto según longitud a lograr, siendo el bit sat la que acoplará a la caja flotante.
- ✓ Después de 1.2m de empate en el piso sólido, incrementar la presión y penetrar entre 70mm a 90mm en 6 minutos hasta que se complete 6m.
- ✓ Retirar todo el equipo de empate, es decir Tricono, Estabilizadores, bit sat, etc.
- ✓ Retirar el agua e inspeccionar el hueco piloto, verificando que no haya grietas ni aberturas, y que la loza de concreto este pegado a la roca.
- ✓ El supervisor asegura que los pernos de anclaje estén ajustados
- ✓ No haya detritus debajo de las placas base.
- ✓ Inclinación y dirección de máquina según nota de topografía.
- ✓ Inspeccionar el piso entre la losa de concreto y la roca (revisar por fallas).
- ✓ Si hubiera alguna filtración o indicio de esto, el hoyo deberá ser llenado con una mezcla de cemento.

5.3 Perforación Piloto

Si el hoyo de empate piloto está en condiciones adecuadas de perforación y ha sido aprobado por el responsable de la Mina y la Supervisión de Solumaq RB, se continuará

Figura 30 — Especificaciones del estándar empate y perforación piloto



- ✓ con la perforación piloto.
- ✓ Instalar los componentes de perforación en la siguiente secuencia: Tricono – Bit sat– Estabilizador de piloto – Barras de perforación.
- ✓ En la perforación piloto se ira acoplando secuencialmente las barras de perforación hasta lograr la longitud total del proyecto.
- ✓ El agua de lavado del hoyo piloto debe sobresalir una altura no menor de 10cm sobre la loza de concreto, verificándolo con el Bailing, llevar un control del consumo de agua, mediante el formato SDS-MA-EST 19 FOR 05 REGISTRO DIARIO DE CONTROL DE CONSUMO DE AGUA Y RECIRCULACIÓN
- ✓ Las barras deberán ser trasladados a la maquina utilizando la plataforma de transporte de barras.
- ✓ Las barras de perforación deberán ser acoplados a la columna.
- ✓ En el caso de que la maquina no tenga operativo el brazo hidráulico, esto debe ser movido por un tecele de 2TN, cable acerado, grilletes y con la participación de 2 colaboradores como mínimo.
- ✓ Los químicos deberán ser utilizados según el tipo de roca a retirar del hoyo piloto.
- ✓ La perforación piloto debe conectar a la cámara inferior PIE DE RB.

1. RESPONSABILIDADES

6.1 GERENTE DE OBRA:

- ✓ Responsable de brindar los recursos para el cumplimiento del estándar.
- ✓ Coordinar con el cliente las necesidades para el cumplimiento del presente estándar.
- ✓ Aprobar el presente estándar

6.2 INGENIERO DE SEGURIDAD:

- ✓ Responsable de verificar el cumplimiento el presente estándar.
- ✓ Evaluar el cumplimiento y conocimiento del presente estándar

6.3 SUPERVISOR:

- ✓ Responsable de cumplir y hacer cumplir el presente estándar.
- ✓ Verificar que el personal cuente con el recurso necesario para cumplir el presente estándar.
- ✓ Supervisar los trabajos que comprendan el cumplimiento del presente estándar.
- ✓ Capacitar y/o difundir el presente estándar

6.4 TRABAJADORES:

- ✓ Responsables de la ejecución de los trabajos y cumplimiento del estándar.
- ✓ Reportar cualquier incidente o accidente durante el cumplimiento del presente estándar.
- ✓ Reportar cualquier oportunidad de mejora del presente estándar.
- ✓ Cuidar y dar uso adecuado de los recursos para el cumplimiento del presente estándar.
- ✓ No usar herramientas o componentes de fabricación artesanal.

6.5 REGISTRO, CONTROLES Y DOCUMENTACIÓN

- SDS-MA-EST 19 FOR 05 REGISTRO DIARIO DE CONTROL DE CONSUMO DE AGUA Y RECIRCULACIÓN

Figura 31 — Responsabilidades de la gerencia en el estándar empate y perforación piloto

1. REVISION Y MEJORAMIENTO CONTINUO

Las revisiones del presente estándar se harán en forma anual y/o cuando se produzcan cambios significativos en las operaciones o en las Normativas Legales.

ELABORADO POR:	REVISADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
			
ENER PIÑAS MENDOZA	MARCO VELASQUEZ ATENCIO	NILTON ALANYA MARI	JOHN ALEJOS HUAMÁN
SUPERVISOR RB	INGENIERO DE SEGURIDAD	GERENTE DE OBRA	GERENTE DE OPERACIONES
FECHA: 18/01/2025	FECHA: 19/01/2025	FECHA: 19/01/2025	FECHA: 20/01/2025

Figura 32 — Revisión y mejoramiento continuo en el estándar de empate y perforación piloto

Anexo K

Estándar de rimado

	ESTÁNDAR RIMADO		UEA SOBREANDES
	Código: SDS-PI-EST 04	Versión: 01	
	Fecha de Elaboración: 21/01/2025	Página: 3	

1. OBJETIVO

Establecer las normas que permitan minimizar o eliminar los peligros y controlar los riesgos, evitando accidentes durante el rimado.

2. ALCANCE

A todo el personal de la división de Raise Boring de la E.E. SOLUMAQ RAISE BORING.

3. REFERENCIAS LEGALES Y OTRAS NORMAS.

1.1 Política de Seguridad y Salud Ocupacional

1.2 Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional D.S. 024-2016-EM. Art. 98, 99, 346, 347, 348, 349, 350, 351.

1.3 Reglamento Interno de Seguridad y Salud Ocupacional de Solumaq.

1.4 Ley 29783, Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo

1.5 D.S. 005-2012, Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo.

4. DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

1.6 **Rimado (Reaming):** Proceso de ensanche del pilot hole hasta alcanzar el diámetro final de la chimenea, mediante la tracción del reamer desde la labor inferior hacia la cámara RB.

1.7 **Reamer / Escareador:** Herramienta de corte de gran diámetro equipada con cutters que se conecta a la sarta para realizar el rimado.

1.8 **Cutters (Rodillo de corte):** Elementos giratorios de acero con insertos (carburo / Tungsteno) que realizan la fragmentación de la roca durante el rimado

1.9 **Swivel (Giro libre)** Dispositivo de conexión que permite la rotación de la sarta sin transmitir torsión indeseada al reamer

1.10 **Sarta de perforación (drill string)** Conjunto de barras que transmiten torque y empuje desde la RB hasta el reamer.

1.11 **Labor de recepción:** Excavación ubicada en el nivel inferior donde se arma el reamer, se recibe el material roto (Cutting) y se controla la evacuación.

1.12 **Cuttings (Detritos):** fragmentos de roca desprendidos durante el rimado, que caen por gravedad a la labor inferior.

5. ESPECIFICACIONES DEL ESTANDAR

5.1 Asignación de componentes de Rimado

Se debe contar con los siguientes componentes:

- ✓ 01 Stem bar con una diferencia de -2mm con respecto al diámetro del tricono.
- ✓ 01 Cross over .
- ✓ Escareador de Ø1.5m. / Ø 2.4m. Ø 3.1m.
- ✓ 01 Estabilizador de piloto con -2mm del diámetro del tricono.
- ✓ Barras de perforación.

Figura 33 — Objetivos y alcances del estándar de rimado

- ✓ 01 Anillo de corte.
- ✓ 01 Caja flotante como mínimo al 75%.
- ✓ Maquina RB 43 RAC / RB 71 RAC deben estar funcionando correctamente.

5.2 Empate de escareador

- ✓ Se pasa prueba de integridad (NDT) a los componentes de RIMADO y del CHUCK.
- ✓ Se calibra los componentes de RIMADO.
- ✓ Se coloca el stem al escareador.
- ✓ El escareador se empata a un torque de 19mm.
- ✓ Tener la secuencia de barras.
- ✓ 12 cortadores.
- ✓ El empate se podrá ejecutar con equipo de bajo perfil o tecles manuales.

5.3 Rimado

- ✓ Se ajusta la penetración hasta que el cortador trabaje a 40000 libras X cortador.
- ✓ Se usa agua para mitigar el polvo y la refrigeración de los cortadores. Llevar un control del agua, utilizar formato SDS-MA-EST 19 FOR 05 REGISTRO DIARIO DE CONTROL DE CONSUMO DE AGUA Y RECIRCULACIÓN
- ✓ Se realiza pruebas de penetración cada hora por un periodo de 6min.
- ✓ Se debe tener un voltaje constante.
- ✓ Se ajusta el limitador de torque a 25% más del amperaje del motor principal.
- ✓ Se usa el tecla para el retiro de barras.
- ✓ Se apilan las barras en un máximo de 2 filas.
- ✓ El estado de la caja flotante debe estar en un mínimo del 75%.
- ✓ Se bloquea y señala el punto de comunicación de la chimenea.
- ✓ Se realiza la limpieza de la carga del rimado constantemente evitando que la carga tape el RB.
- ✓ Culminado el RB se tapa con maderas y se bloquea y señala su ingreso.
- ✓ Las barras se torquean a 19mm.
- ✓ Llevar control de las presiones de perforación rimado

5.4 Limpieza de rimado

- ✓ Se realizará con equipo de bajo perfil (scooptram)
- ✓ Se paralizará la perforación rimado.
- ✓ Se desactivará la barrera rígida, pero debe estar un vigía para evitar el ingreso de personal no autorizado.
- ✓ Se realizará comunicación constante vía telefónica con el operador RB.
- ✓ Se realizará la limpieza de toda la carga dejando una base de carga de 1 metro como mínimo para amortiguar en caso suceda caída del escariador.
- ✓ La barrera rígida debe estar ubicada a 6 metros de la línea de fuego de la chimenea RB.

1. RESPONSABILIDADES

6.1 GERENTE DE OBRA:

- ✓ Responsable de brindar los recursos para el cumplimiento del estándar.

Figura 34 — Empate, rimado, limpieza de rimado

- ✓ Coordinar con el cliente las necesidades para el cumplimiento del presente estándar.
- ✓ Aprobar el presente estándar

6.2 INGENIERO DE SEGURIDAD:

- ✓ Responsable de verificar el cumplimiento el presente estándar.
- ✓ Evaluar el cumplimiento y conocimiento del presente estándar

6.3 SUPERVISOR:

- ✓ Responsable de cumplir y hacer cumplir el presente estándar.
- ✓ Verificar que el personal cuente con el recurso necesario para cumplir el presente estándar.
- ✓ Supervisar los trabajos que comprendan el cumplimiento del presente estándar.
- ✓ Capacitar y/o difundir el presente estándar

6.4 TRABAJADORES:

- ✓ Responsables de la ejecución de los trabajos y cumplimiento del estándar.
- ✓ Reportar cualquier incidente o accidente durante el cumplimiento del presente estándar.
- ✓ Reportar cualquier oportunidad de mejora del presente estándar.
- ✓ Cuidar y dar uso adecuado de los recursos para el cumplimiento del presente estándar.

1. REGISTROS, CONTROLES Y DOCUMENTACIÓN

- ✓ SDS-MA-EST 19 FOR 05 REGISTRO DIARIO DE CONTROL DE CONSUMO DE AGUA Y RECIRCULACIÓN

2. REVISION Y MEJORAMIENTO CONTINUO

Las revisiones del presente estándar se harán en forma anual y/o cuando se produzcan cambios significativos en las operaciones o en las Normativas Legales.

ELABORADO POR:	REVISADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
			
ENER PIÑAS MENDOZA	MARCO VELASQUE Z ATENCIO	LISGARDO SILVESTRE ROSADO	JOHN ALEJOS HUAMÁN
SUPERVISOR RB	INGENIERO DE SEGURIDAD	GERENTE DE OBRA	GERENTE DE OPERACIONES
FECHA: 21/01/2025	FECHA: 22/01/2025	FECHA: 22/01/2025	FECHA: 23/01/2025

Figura 35 — Responsabilidades de la gerencia, ingeniero de seguridad, superviso y trabajadores

Anexo L

Estándar liberación de cabeza rimadora

	ESTÁNDAR LIBERACION DE CABEZA RIMADORA		UEA SOBREANDES
	Código: SDS-PI-EST 06	Versión: 04	
	Fecha de Elaboración: 04/01/2025	Páginas: 3	

1. OBJETIVO

Estandarizar los Trabajos de Liberación de la cabeza Rimadora y dar cumplimiento a la normativa establecidas para un buen desempeño en nuestras operaciones de Perforación de Chimeneas, asegurando la seguridad integral, el bienestar del personal y la efectividad en el proceso

2. ALCANCE

A todo el personal de la división de Raise Boring de la E.E. SOLUMAQ RAISE BORING.

3. REFERENCIAS LEGALES Y OTRAS NORMAS.

1.1.

Política de seguridad y salud ocupacional

1.2.

Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en minería D.S. 024-2016-EM. y su modificatoria
D.S. 023-2017 EM Art. 127.

1.3.

Ley 29783, ley de seguridad y salud en el trabajo. Art 20 (b), (c).

1.4.

Norma ISO 45001 – 2018 (Requisito 8.1)

1.5.

Norma ISO 9001-2015 (Requisito 8.1)

4. DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

1.6.

Cabeza rimadora (Reamer Head) Herramienta de corte de gran diámetro que se instala en el extremo inferior del varillaje para realizar el escariado del Raise

1.7.

Liberación de cabeza rimadora Conjunto de maniobras seguras y planificadas para desacoplar la cabeza rimadora de la columna de barras, una vez concluido el proceso de escariado.

1.8.

Varillaje (Drill String) Conjunto de barras conectadas entre la mesa rotatoria de la máquina RB y la cabeza rimadora, encargado de transmitir torque y empuje.

1.9.

Torque de Liberación Fuerza de giro aplicada por el Chuck y las mordazas para aflojar la conexión roscada entre la columna de barras y la cabeza rimadora.

1.10.

Sistema de Izaje Auxiliar Equipos de izaje, empleados para sostener y controlar la liberación y retiro de la cabeza rimadora.

1.11.

Bloqueo y Etiquetado (LOTO) Procedimiento de control de energías que asegura la desenergización hidráulica, mecánica y eléctrica de la maquina antes de iniciar la liberación.

5. ESPECIFICACIONES DEL ESTANDAR

1.12.

La liberación del escariador se puede realizar por la parte superior o inferior.

1.13.

Se deberá contar con un tecele instalado en la corona de la labor.

Figura 36 — Objetivos, alcances y definiciones estándar liberación de cabeza rimadora



Tabla 01 CAPACIDAD DEL TECLE CON RESPECTO DIAMETRO DEL ESCARIADOR

1.1. Se deberá tener disponible el apoyo de un scoop o grúa

Ø ESCARIADOR	PESO ESCARIADOR	YARDAS CUBICAS	TONELADAS METRICAS
1.5	4 t	4 yd3	8 - 9 t
2.4	8 t	6 yd3	13 - 14 t
3.1	12 t	6 yd3	13 - 14 t

Tabla 02 CAPACIDAD DEL SCOOP CON RESPECTO DIAMETRO DEL ESCARIADOR

1.2. Para la Liberación de la Cabeza Rimadora se den tener los siguientes materiales:

- ✓ Liftin Box.
- ✓ Estrobos.
- ✓ Grilletes.
- ✓ Arnés Con línea de vida y punto de anclaje.

Ø ESCARIADOR	PESO ESCARIADOR	GRILLETES	ESTROBOS	LIFTIN BOX
1.5	4 t	3/4"	5/8"	8"
2.4	8 t	1"	1 "	11"
3.1	12 t	1-1/4"	1-1/8 "	11"

Tabla 03 CAPACIDAD DE ACCESORIOS DE IZAJE Y RB CON RESPECTO DIAMETRO DEL ESCARIADOR

Utilizar las siguientes herramientas de gestión: SDS-PI-EGE-02-FOR-03 PERMISO ESCRITO DE TRABAJOS DE ALTO RIESGO, SDS-PI-EST-09-FOR 04 INSPECCIÓN DE TECLES, SDS-PI-EST-09-FOR 06 INSPECCIÓN DE ACCESORIOS DE IZAJE.

1. RESPONSABILIDADES

6.1 GERENTE DE OBRA:

- ✓ Responsable de brindar los recursos para el cumplimiento del estándar.
- ✓ Coordinar con el cliente las necesidades para el cumplimiento del presente estándar.
- ✓ Aprobar el presente estándar

Figura 37 — Especificaciones estándar liberación de cabeza rimadora

6.2 INGENIERO DE SEGURIDAD:

- ✓ Responsable de verificar el cumplimiento el presente estándar.
- ✓ Evaluar el cumplimiento y conocimiento del presente estándar

6.3 SUPERVISOR:

- ✓ Responsable de cumplir y hacer cumplir el presente estándar.
- ✓ Verificar que el personal cuente con el recurso necesario para cumplir el presente estándar.
- ✓ Supervisar los trabajos que comprendan el cumplimiento del presente estándar.
- ✓ Capacitar y/o difundir el presente estándar
- ✓

6.4 TRABAJADORES:

- ✓ Responsables de la ejecución de los trabajos y cumplimiento del estándar.
- ✓ Reportar cualquier incidente o accidente durante el cumplimiento del presente estándar.
- ✓ Reportar cualquier oportunidad de mejora del presente estándar.
- ✓ Cuidar y dar uso adecuado de los recursos para el cumplimiento del presente estándar.

1. REGISTRO CONTROLES Y DOCUMENTACIÓN

- SDS-PI-EGE-02-FOR-03 PERMISO ESCRITO DE TRABAJOS DE ALTO RIESGO
- SDS-PI-EST-09-FOR 04 INSPECCIÓN DE TECLES
- SDS-PI-EST-09-FOR 06 INSPECCIÓN DE ACCESORIOS DE IZAJE

2. REVISION Y MEJORAMIENTO CONTINUO

Las revisiones del presente estándar se harán en forma anual y/o cuando se produzcan cambios significativos en las operaciones o en las Normativas Legales.

ELABORADO POR:	REVISADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
			
ENER PIÑAS MENDOZA	MARCO VELASQUEZ ATENCIO	NILTON ALANYA MARI	JOHN ALEJOS HUAMÁN
SUPERVISOR RB	INGENIERO DE SEGURIDAD	GERENTE DE OBRA	GERENTE DE OPERACIONES
FECHA: 04/09/2025	FECHA: 07/01/2025	FECHA: 07/01/2025	FECHA: 08/01/2025

Figura 38 — Registro, controles, revisión y mejoramiento continuo estándar liberación de cabeza rimadora

Anexo M

Equipo Raise Boring



Figura 39 — Equipo 43 Raise boring ubicado en cámara 305

Anexo N
Comunicación RB 305

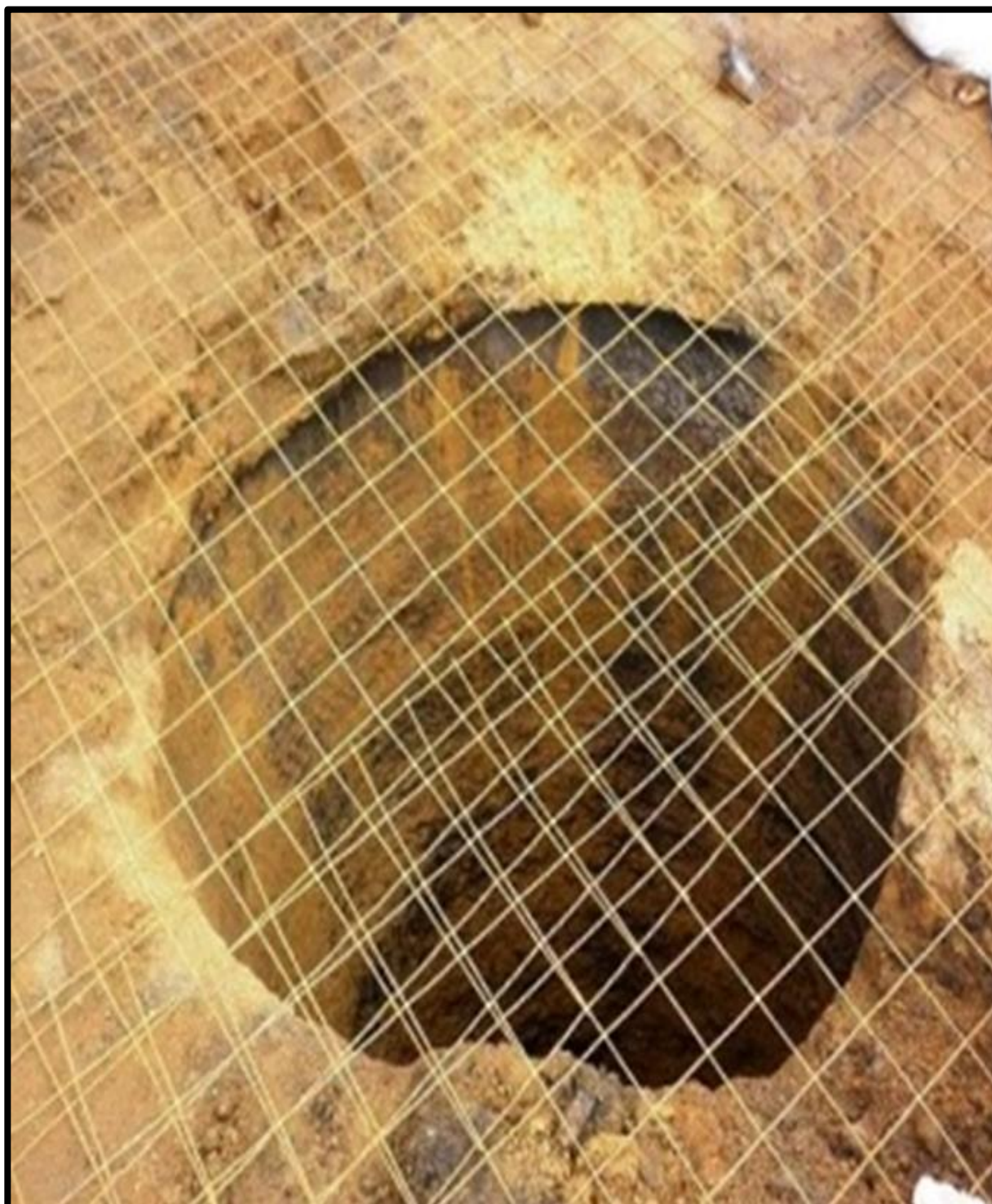


Figura 40 — Boca de chimenea 305 en forma circular 2.4 de diámetro