



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**

“Aplicación del Método Raise Boring para Optimizar el Proceso de  
Minado en los Tajos ORE BODY 2B U.M. Cerro Lindo S.A.”

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

Ingeniera de Minas

**AUTORAS:**

Huado Espinoza, Roxana Elizabeth (ORCID: 0000-0002-1664-4754)

Ramos Díaz, Stephany Lizeth (ORCID: 0000-0002-7803-4230)

**ASESOR:**

Dr. Martell Espinoza, Beder Erasmo (ORCID: 0000-0002-4169-9212)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Perforación y Voladura de Rocas

**CHICLAYO – PERÚ**

**2021**

## **Dedicatoria**

A mi madre Lilia Espinoza por apoyarme en todo momento; brindarme valiosos consejos y haberme formado con buenos principios para seguir adelante siempre.

A la memoria de mi padre Carlos Huado.

A mis hermanos, para que este trabajo les sirva de ejemplo y se superen en la vida académicamente.

***Roxana Elizabeth***

A mi esposo y amigo Rolando, por estar conmigo en aquellos momentos en que el estudio y el trabajo ocuparon mi tiempo y esfuerzo. Gracias por toda tu ayuda. A mis padres, Danny y William, y a mis queridas hermanas Sheila y Kimberly, por su apoyo y estímulo para poder continuar con mis estudios graduados.

***Stephany Lizeth***

## **Agradecimiento**

Nuestra gratitud a Dios por darnos la vida y estar en todo momento, bendiciéndonos con la fortuna de conocer excelentes personas y profesionales.

Gracias a Compañía Minera Cerro Lindo y Tumi Contratistas por brindarnos la información.

A la Universidad Cesar Vallejo por habernos brindado amablemente realizar los trámites para obtener el título profesional.

***Las autoras***

## Índice de contenidos

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento .....	iii
Índice de contenidos .....	vii
Índice de tablas.....	viii
Resumen .....	xii
Abstract.....	xiii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MARCO TEÓRICO .....	4
III. METODOLOGÍA.....	34
<b>3.1. Tipo y diseño de investigación</b> .....	34
<b>3.2. Variables y operacionalización</b> .....	34
<b>3.3. Población y muestra – muestreo</b> .....	39
<b>3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad</b> .....	40
<b>3.5. Procedimiento</b> .....	41
<b>3.6. Método de análisis de datos</b> .....	42
<b>3.7. Aspectos éticos</b> .....	42
IV. RESULTADOS.....	43
V. DISCUSIÓN .....	100
VI. CONCLUSIONES .....	104
VII RECOMENDACIONES.....	106

## Índice de tablas

Tabla 1. Largo de perforación conforme a la sección y n° de tiros. ....	10
Tabla 2. Parámetros de Perforación y voladura del método V.C.R. ....	22
Tabla 3. Concordancia entre el diámetro de varillaje y el tricono. ....	28
Tabla 4. Índices de selección. ....	30
Tabla 5. Métodos de minería subterránea según yacimiento y componentes. ....	31
Tabla 6. Tipos de perforación. ....	32
Tabla 7. Límite máximo permisible de gases tóxicos. ....	33
Tabla 8. Operacionalización de variables. ....	37
Tabla 9. Ubicación geográfica coordenadas UTM. ....	43
<i>Tabla 10. Características de la Unidad Minera Cerro Lindo. ....</i>	<i>50</i>
Tabla 11. Mapeo geomecánico según estaciones geomecánicas. ....	53
Tabla 12. Listado de taladros relogueados. ....	54
Tabla 13. Relación de Ensayos Ejecutados en Laboratorio. ....	56
Tabla 14. Resultados de propiedades físicas de los testigos. ....	57
Tabla 15. Resumen de Resultados del ensayo. ....	58
Tabla 16. Resumen de los Valores Is (50) conforme a la Litología. ....	599
Tabla 17. Resultados de los Ensayos de Compresión Triaxial. ....	60
Tabla 18. Resultados Ensayos de tracción indirecta. ....	61
Tabla 19. Factores de Conversión estimados para el Proyecto. ....	62
Tabla 20. Resistencia a la Compresión Simple de la Roca Intacta. ....	64
Tabla 21. Parámetros considerables en la clasificación del Sistema RMR. ....	66
Tabla 22. Clases de Macizo Rocoso y sus Índices RMR. ....	66
Tabla 23. Variabilidad de la Clasificación Geomecánica RMR en el cuerpo OB2. ....	72
Tabla 24. Parametros Geomecánicos. ....	74
Tabla 25. Equipo de perforación. ....	75
Tabla 26. Equipos de sostenimiento y limpieza. ....	76
Tabla 27. Parámetros de la perforación considerados en UM Cerrlo Lindo. ....	76
Tabla 28. Explosivos y accesorios empleados para la construcción de chimeneas VCR. ....	77
Tabla 29. Accesorios según equipo de perforación a emplear. ....	79
Tabla 30. Costos unitarios de construcción de chimenena VCR. ....	80
Tabla 31. Distribución de tiempos en construcción de chimenea Slot con VCR. ....	81
Tabla 32. Días en construcción de chimenea Slot de 27,30 m con VCR. ....	81
Tabla 33. Tuberías de Perforación. ....	88

Tabla 34. Condiciones de perforación según la calidad de la roca.....	91
Tabla 35. Costos unitarios de construcción de chimenea Raise Boring.....	92
Tabla 36. Distribución de tiempos en construcción de chimenea Slot con RB...	93
Tabla 37. Días en construcción de chimenea slot de 27.30 m, Raise Boring....	93
Tabla 38. Horas en actividades chimenea Slot de 27.30 m, Raise Boring.....	84
Tabla 39. Horas efectivas en operación.....	84
Tabla 40. Horas efectivas de actividades complementarias.....	95
Tabla 41. Tiempos muertos en Operación Contratista.....	95
Tabla 42. Tiempo muerto cliente.....	96

## Índice de figuras

Figura 1. Plataforma trepadora Alimak.....	11
Figura 2. Carril guía curvado.....	16
Figura 3. Carril guía de servicios.....	17
Figura 4. Ciclo de operaciones de plataforma Alimak.....	20
Figura 5. Diseño de la malla de perforación chimenea V.C.R. ....	23
Figura 6. Proceso Raise Boring.....	24
Figura 7. Raise Boring estándar.....	25
Figura 8. Raise Boring Reversible.....	26
Figura 9. Raise boring para huecos ciegos. ....	26
Figura 10. Mapa de ubicación del proyecto.....	43
Figura 11. Cuenca tras Arco y Subducción.....	46
Figura 12. Geología Regional de la Unidad Cerro Lindo.....	47
Figura 13. Vista Isométrica de la Geología Local ....	48
Figura 14. Secuencia de alteración Supergena ....	50
Figura 15. Vista Longitudinal del Modelo 3D ....	55
Figura 16. Estadística de la Compresión Simple en distintos dominios.....	63
Figura 17. Conducta del RQD para el Ore Body 2.....	64
Figura 18. SPP de grano grueso a medio en el Nv 1680 CX18. / SPP de grano grueso a medio, CL13-1740-07 (57.18-62.35).....	66
Figura 19 SPB de grano grueso a medio, CL13-1740-16 (47.14 -51.04)/SPB de grano medio, CL10-501-07 (170.70-174.90).....	67
Figura 20. Volcánico fracturado - Contacto caja techo volcánico – Mineral.....	67
Figura 21. Plano de estudio geomecánico RMR litología volcánico.....	68
Figura 22. Caja techo cercana – Transición volcánico – SPP.....	69
Figura 23 Plano de isovalores RMR transición volcánico-SPP U.M. Cerro Lindo.....	69
Figura 24. CL10-507 (115.08 – 117.93).....	70
Figura 25. CL10-501 (110.26 – 114.30).....	70
Figura 26 CL10-501 (118.14 – 122.30).....	70
Figura 27 Plano de isovalores de RMR en planta.....	71
Figura 28. Análisis Estadístico de los Valores de RMR para el OB2 respectivamente.....	72

Figura 29. División de bloque .....	74
Figura 30. Esquema de perforación para chimeneas VCR.....	78
Figura 31. Voladura chimeneas VCR.....	73
Figura 32. Simba <i>H-1254</i> .....	78
Figura 33 Representación del transporte a orugas.....	83
Figura 34. Estándar de cámara adjunto – plano vista en planta.....	86
Figura 35 Estándar de cámara adjunto – plano vista en planta.....	87
Figura 36. Perforación piloto – perforación rimado.....	90
Figura 37. Especificaciones de la maquina SBM 400 SR.....	91
Figura 38. Chimenea Slot 27.30 m.....	97
Figura 39. US\$ Chimenea Slot 27.30 m.....	98
Figura 40 . % Accidentabilidad Chimenea Slot 27.30 m.....	99



## Resumen

El presente trabajo de investigación tuvo con propósito, la aplicación del método Raise Boring con el fin de optimizar el proceso de minado en los tajos ORE BODY 2B en la U.M. Cerro Lindo. Esto se dio debido a observaciones en esta empresa, deseándose optimizar los tiempos, costos y cuidando la seguridad de sus trabajadores.

Como población, se consideró a los cuerpos mineralizados tanto en fase de minado como en fase de exploración, y como muestra el cuerpo mineralizado OB2B block 422 (tajos T – 119A, T-179, T-119AS), encontrándose entre los niveles 1880 – 1910. Para el procesamiento de información se utilizaron métodos como es el analítico, sistémico; técnicas de investigación documental y de campo (observación), junto a instrumentos empleados como herramientas Microsoft y guías de análisis de laboratorio.

Finalmente, los resultados constatan que el método Raise Boring permite construir chimeneas sin necesidad de sostenimiento considerando las condiciones y características del macizo rocoso a costo y tiempo ideal, y se concluye, que esta alternativa para la construcción de chimeneas slot, resulta ser una propuesta económicamente rentable a comparación del método VCR, optimizando el proceso de minado en relación con costos y tiempo.

**Palabras claves:** Método, Raise Boring, producción, cuerpo mineralizado.

## **Abstract**

The present research work had a purpose, the application of the raise boring method in order to optimize the mining process in the ORE BODY 2B pits in the U.M. Cerro Lindo. This was due to observations in this company, wanting to optimize times, costs and taking care of the safety of its workers.

As a population, the mineralized bodies were considered both in the mining phase and in the exploration phase, and as shown by the mineralized body OB2B block 422 (pits T - 119A, T-179, T-119AS), being between the levels 1880 - 1910. For the information processing, methods such as analytical, systemic; documentary and field research techniques (observation), together with instruments used as Microsoft tools and laboratory analysis guides.

Finally, the results confirm that the raise boring method allows the construction of chimneys without the need for support, considering the conditions and characteristics of the rocky massif at an ideal cost and time, and it is concluded that this alternative for the construction of slot chimneys turns out to be an economically proposal. cost-effective compared to the VCR method, optimizing the mining process in relation to costs and time.

**Keywords:** Method, Raise Boring, production, mineralized body.

## I. INTRODUCCIÓN

Perú es un país diverso, en cuanto a extracción de minerales metálicos y no metálicos, siendo uno de los países más ricos en recursos minerales, según lo afirmado en el blog de CAMIPER (2019), el Perú es un país minero, reconocido mundialmente y sus exportaciones tienen alta demanda siendo China uno de los principales compradores, siguiéndole, Japón, Estados Unidos, Reino Unido y Suiza, por otra parte, este rubro brinda puestos de trabajo bien remunerados.

Las empresas mineras consideran diferentes estrategias para incrementar la producción según sus estudios en cuanto a sus reservas de mineral, a su vez optimizar procesos de explotación y disminuir costos. La Unidad Minera Cerro Lindo ansía acrecentar la producción en el tajo ORE BODY 2B en los blocks 422, en el menor tiempo posible, debido a sus características mineralógicas de sulfuros primario de baritina, esfalerita, calcopirita y pirita.

Aunque la realidad problemática que enfrentan, es que el método de explotación aplicado, muestra una sucesión de dificultades e insuficiencias operativas, como proceso de extracción lento, costoso, inadecuada manipulación del mineral y ventilación defectuosa, según Rivera (2015) indicó que eso conlleva a tener bajo rendimiento, riesgos de accidentes e incidentes y elevación de costos en operaciones unitarias, por lo que es necesario optar por aplicar técnicas que permitan corregir las deficiencias para mejorar los resultados.

Bautista (2017) indicó que la producción de mineral tiende a disminuir debido al bajo volumen que se origina en los tajos, teniendo vetas angostas con baja potencia y reducción de reservas, lo que conlleva a profundizar la mina para mejorar la rentabilidad y lograr mayor productividad, como fue el caso del proyecto Pallancata de la Empresa Ares S.A.C. en la que se diseñó y planeó una opción para la recuperación de material empleando minado en taladros largos.

Por otra parte, según el blog de Gerens (2018), la falta de fortalecimiento de la planificación minera es un punto en contra si se trata de mejoras continuas, ya que es necesario enfocarse en una producción de calidad minorando gastos y

optimizando el desempeño operativo, haciendo uso de nuevas técnicas que permitan innovar y maximizar la producción.

Rivera (2015) mencionó que uno de los problemas en minería son los procesos de extracción lentos y de costo elevado, lo ideal es determinar un plan de minado correcto, el cual genere una inversión baja, permita optimizar costos e incrementar la producción, considerando diferentes factores geológicos y geomecánicos, de ese modo se logrará un minado con mejores resultados.

Considerando que la finalidad es lograr una máxima productividad, resulta necesario la aplicación de métodos que permitan lograr un alto índice de recuperación de mineral, según Carpio (2018) las voladuras se aplican en labores de avance como de producción de acuerdo al método de explotación determinado, considerando que el método sea el Sub Level Stopping, se realizan chimeneas que cumplan la función de primera cara libre conocidas como slot, para posteriormente realizar perforaciones de taladros largos y la voladura para la obtención de material, para continuar con las operaciones de ventilación y desate, y más adelante, cargar el material.

Esta investigación se desarrolla partiendo de la siguiente formulación, ¿Cómo se podría optimizar el proceso de minado en los tajos ORE BODY 2B en la U.M. Cerro Lindo?, de este modo se desea proponer la aplicación del método raise boring, el cual complementará al método de extracción principal que es el Sub Level Stopping Ascendente Secuencial, para lograr una alta incidencia productiva y eficiencia en las operaciones.

La importancia de esta investigación se enfoca en lo metodológico puesto que logrará que se desarrolle la investigación científica, aplicando técnicas y procesos que ayudará a darle solución al problema definido objetivamente, por otra parte, tiene una justificación económica, ya que la Unidad Minera Cerro Lindo S.A. logrará optimizar costos mientras que las operaciones se realicen de manera continua y eficiente. También cuenta con una justificación en seguridad, puesto que al proponer la aplicación del método mencionado, habría disminución de accidentes e incidentes por la poca mano de obra, ya que el proceso es mecanizado y las paredes de las chimeneas a realizarse serían estables,

también cuenta con una justificación ambiental, ya que al no aplicar explosivos para desarrollar la chimenea se reduce la contaminación por gases en el interior mina, lo que genera un ambiente de trabajo ideal para los obreros, manteniendo y cuidando su estado de salud, en otras palabras en este método de explotación (Sub level stoping), el cual se utiliza para grandes cuerpos de mineral con una pendiente pronunciada, forma regular y límites definidos de mineral, en el cual se emplean taladros largos, es fundamental la perforación y voladura oportuna de estos taladros para la fragmentación del mineral y su posterior envío a planta concentradora, por lo tanto es un requisito primordial crear la primera cara libre en un tajeo, para realizar la voladura masiva. Para generar estas caras libres (también conocidas como chimeneas slot), en esta unidad se emplea la técnica del VCR y el método Raise Boring. Esta tesis solo se enfoca en demostrar una parte del ciclo de minado, la cual es la construcción de la primera cara libre, siendo el método Raise Boring más eficiente que el método Vertical Crater Retriert, esto evidentemente ayudara a mejorar y optimizar a corto plazo la productividad del método sub level stoping.

Este estudio tiene como propósito principal, proponer la aplicación del método raise boring con el fin de optimizar el proceso de minado en los tajos ORE BODY 2B en la U.M. Cerro Lindo y como objetivos secundarios describir de manera general las operaciones de la U.M. Cerro Lindo, evaluar el sistema de minado actual, identificar los beneficios al emplear el método raise boring.

Para obtener resultados objetivos se considera la siguiente hipótesis: Si se propone la aplicación del método raise boring entonces se logrará optimizar el proceso de minado en la Unidad Minera Cerro Lindo S.A., la cual, a base de experimentación, se logrará determinar si es factible o no la propuesta sugerida.

## II. MARCO TEÓRICO

Al realizar esta investigación, se hizo necesaria la búsqueda de información relacionada al tema a tratar, considerando fuentes bibliográficas de artículos, libros, tesis y demás, que sirven como base para lograr los objetivos trazados y desarrollar la investigación con eficiencia.

Como **antecedentes internacionales** se considera a RAMÓN REDROVAN, Edwin (2015), en su investigación que lleva como título, Edificación del pozo de presión con el Método Raise Boring y ensanche manual en el proyecto Hidroeléctrico Quijos, Macas-Ecuador, tuvo como objetivo desarrollar la construcción de un pozo de presión haciendo uso del método raise boring, siendo el ideal, debido a las características geotécnicas existentes, concluyendo que la excavación se desarrolló de manera eficiente pese a la alta meteorización, teniendo como dato que el sondeo realizado para determinar la litología fue de 4 cm/min de velocidad, lo que ayudó a seleccionar la broca y la secuencia del raise boring.

Por otra parte, se toma en cuenta la publicación de investigación realizada por VÍLCHEZ LAGOS, Felipe (2015), titulada como, Ejecución de chimeneas por el método Alimak y Raise Boring, Santiago de Chile - Chile, teniendo como objetivo describir ambos métodos, determinando sus características, ventajas y desventajas para la selección de los mismos según las condiciones y peculiaridades geomecánicas de la mina, concluyendo que ambos métodos son seguros, ya que los equipos se monitorean mediante un panel de control, trabajando con rapidez y eficacia, empleándose para realizar chimeneas de cara libre, de ventilación, servicios auxiliares.

Por otra parte, se tomó en cuenta la autoría a **nivel nacional** considerando a CONTRERAS LLICA, Laddy (2015) en su estudio, Perforación de Chimeneas con el método Raise Boring en la Unidad Minera Arcata, Arequipa – Perú, donde propuso la construcción de chimeneas en un lapso corto usando el método raise boring, analizando los beneficios del mismo y la gestión de seguridad, concluyendo que el método es eficiente y seguro, ya que no se aplica explosivos para su construcción reduciendo el índice de accidentabilidad en trabajos de alto riesgo, por otra parte se concluye que logra un avance continuo de 25 m/día

(perforación piloto) y de 13 a 15 m/día (escariado) logrando un rendimiento operativo, eliminando tiempos improductivos obtenido como resultado paredes auto sostenidas.

DOMÍNGUEZ CAJUSOL, Percy (2015) en su proyecto que lleva como título, Técnica de minado a medio plazo para una explotación superficial aplicándolo al proyecto Santa Este de la Unidad Minera Iscaycruz – Compañía Minera Los Quenuales, Piura – Perú, en la que se presentó como finalidad perfilar y efectuar un procedimiento de minado para el aprovechamiento de las reservas del proyecto Santa Este de la U.M. Iscaycruz, lo que permitiría proyectar la extracción del mineral de manera favorable, detallando las operaciones unitarias, concluyendo que es obligatorio conocer los parámetros y criterios tanto geotécnicos como geomecánicos para lograr un óptimo diseño de tajo, y así establecer el tamaño de equipos, altura de bancos, el striping ratio entre otros, y que al constituir un buen plan de minado se optimizará el valor actual neto.

RIVERA HUAMÁN, Miguel (2015) en su investigación titulada, Realización de chimeneas raise boring para mejorar el procedimiento de minado y los costos de explotación en el tajo 355 de Reina Leticia en Compañía Minera Raura S.A, Huancayo - Perú, en la cual se trazó como objetivo la evaluación de técnicas que permitan maximizar la técnica de minado y disminuir precios en el tajo 355 del área Reina Leticia considerando el sistema de minado existente, concluyendo que al emplear chimeneas Raise Boring es más rentable que el método corte y relleno, de ese modo la alimentación relleno detrítico se realice en periodo de 11 horas a comparación del método actual que se realiza en 17.92 horas, aunque demanda de una alta inversión al iniciar el proyecto.

BAUTISTA CONDORI, Julio (2017) en su informe de investigación titulado, Diseño y planeamiento de minado subterráneo para incrementar la producción diaria de la Unidad Operativa Pallancata – Proyecto Pablo – Compañía Minera Ares S.A.C., Puno – Perú, muestra como propósito diseñar un plan de minado del proyecto mencionado a medio plazo favoreciendo a la incrementación de la productividad tomando en cuenta las fases de geología, geomecánica y el método de minado, concluyendo que el aprovechamiento del proyecto consiguió acrecentar la productividad diaria, contribuyendo 948 TM/día que excede lo

programado que fue de 887 TM/día, logrando un aumento de niveles de producción, también los estudios geológicos y geotécnicos arrojaron que el Proyecto Pablo tiene una vida útil de cinco años aplicando el método de Bench and Fill (anchura de veta de 2m a 12 m), Subnivel Ascendente con Relleno Cementado (anchura de veta de 6m) y Corte Relleno semi mecanizado ascendente (anchura de veta menor a 2m).

OLLACHICA HACHA, Humberto y OLLACHICA SULLA, Aurelio (2019) en la investigación titulada, Optimización en la Construcción de chimenea en la veta Ánimas a través del Método de Perforación Raise Boring en la Minera Bateas SAC, Caylloma; Arequipa – Perú, en la que se traza como propósito mejorar la construcción de una chimenea usando el método raise boring para lograr estabilizar el material cuaternario y aumentar la capacidad portante del suelo, concluyendo que el método propuesto logró desarrollar la chimenea según el cronograma planteado sin la presencia de accidentes e incidentes.

Por otra parte, ARAUJO IZIQUE, Henry (2018) en su investigación que lleva como título, Influencia de presión y rotación en la velocidad de penetración en rimado de una chimenea inclinada 52°, sistema Raise Borer en Oyon, La Libertad – Perú, la cual tuvo como objetivo establecer el dominio de presión y revolución durante el proceso de realización de una chimenea inclinada con el método raise boring con respecto a la velocidad de perforación, determinando parámetros ideales, logrando concluir que conforme vaya aumentando la presión y revoluciones existentes, va incrementando la rapidez, logrando de esta manera la optimización de tiempos al desarrollar el trabajo y sobre todo optimizar costos, considerando que la inclinación de la chimenea sea menor a 60°.

MALLQUI CARRANZA, Edgar (2019) en el informe titulado, Optimización de coste en extracción de mineral, adecuando chimeneas raise boring como ore pass del nivel 1915 al nivel 1467 de la Mina Papagayo, La Libertad – Perú, sostuvo como propósito el minorizar el coste de extracción de minerales de las vetas Rosamela y Rosaura del nivel 1915 implementando una nuevo medio de extracción como la realización de chimeneas mediante el método Raise Boring, usando Ore Pass, como un plan para acortar distancias de senda de equipos; logrando concluir que el desarrollo de chimeneas logró un incremento de la



rentabilidad, con un costo efectivo neto de US\$ 848902.33 y una tasa interna de retorno del 91%, reduciendo el costo de transporte a 9.7 US\$/TM y aumentando la productividad de 59.28 TM/H a 91.26 TM/H.

RAMOS PERCCA, Daniel (2019) en la investigación titulada, Desarrollo de chimeneas de ventilación, ore pass y waste pass manipulando el método de perforación Raise Boring para la prolongación de labores mineras en la Unidad San Rafael, Puno – Perú, la cual tuvo como meta establecer el grado de importancia del método Raise Boring para el desarrollo de labores auxiliares, siguiendo con los proyectos de extracción en la mina, y concluyendo que al aplicar dicha propuesta de chimeneas raise boring para servicios auxiliares se optimiza el circuito de ventilación debido a la rápida evacuación de gases, y al realizarlas aplicando Raise Boring no se presentan accidentes o incidentes, determinando que es un método efectivo.

VILCA YUCRA, Junior y VILCA YUCRA, Juan (2018) en su tesis titulada, Aplicación de la geomecánica para el control de la desviación en la perforación del taladro piloto con equipo Raise Boring en la ejecución de chimeneas en la Unidad Minera San Rafael – Minsur S.A., Puno – Perú, sostuvo como objetivo monitorear las desviaciones al perforar taladros piloto para la realización de chimeneas RB Nv - 4200 y pie RB Nv – 3900, RB Nv - 4310 y pie RB Nv – 4185 usando la técnica de Raise Boring, considerando las diferentes condiciones y características geomecánicas del macizo rocoso. Concluyendo que, al determinar la calidad del macizo rocoso fue calificada como regular a buena, los controles se realizarán aplicando presiones según el avance del taladro piloto y la profundización, en el proyecto n° 01 se considera una sola presión de empuje teniendo como base una sola resistencia de 140 MPa, obteniendo una desviación de 4.3 m, mientras que en el proyecto n° 02, la presión se rige considerando distintas calidades de macizo rocoso, en el tramo 14.88 m la presión acrecienta a 243 PSI puesto que la calidad de roca es regular, y a los 17.44 m de hondura, la presión alcanza a 483 PSI, lográndose una desviación de 0.38 m cumpliendo los estándares de perforación (desviación máx. 1%).

CHUQUITAYPE ZÚÑIGA, Christian (2018), en la investigación titulada, “Gestión de seguridad en la construcción de la chimenea raise boring 01 y

sostenimiento de la columna para servicio de ventilación Empresa Iesa S.A. U.O. Pallancata”, Arequipa – Perú, tuvo como objetivo construir una chimenea para mejorar las condiciones de ventilación en la unidad minera considerando la aplicación de un sistema integral de seguridad para su desarrollo, y concluyó que, al emplear el sistema Raise Boring ayudó a reducir la exposición del personal en trabajos de alto riesgo y que permite que las paredes de la chimenea sean estables según el tipo de roca, y también tomando medidas correctivas y preventivas.

QUINTO ROBLES, Junior (2019), en su tesis titulada, “Análisis Geomecánico en la ejecución del Raise Borer 19 Mina Islay”, Cerro de Pasco – Perú, tuvo como finalidad desarrollar una chimenea aplicando el sistema raise boring considerando el análisis geomecánico del proyecto, apreciando las particularidades de la zona y la clasificación geomecánica, concluyendo que, con los métodos de excavación aplicando explosivos no garantiza la estabilidad de las paredes de las chimeneas a comparación del método raise borer, puesto que los resultados geomecánicos indicaron que el macizo rocoso es de calidad buena a mala por ello se inyectó cemento en las paredes para minorar la inestabilidad.

Entre las **teorías relacionadas** al tema se considera lo siguiente:

### **Construcción de chimeneas**

Según Salinas (1998), las chimeneas son excavaciones verticales o en todo caso inclinadas, mayormente con un ángulo de 40°, pueden ser de sección cuadrada, circular, rectangular y se realizan con la finalidad de proporcionar ventilación a la mina, de cara libre para el proceso de explotación, acceso para el personal, entre otros. Ramón (2015) menciona que, el método raise boring es ideal para la construcción de pozos, según las características geomecánicas, la excavación se realiza de manera eficiente, aunque haya meteorización alta, para ello, es recomendable realizar sondeos para determinar la litología que permitirá escoger la broca y la secuencia de perforación.

Vilchez (2015) especifica que las características, ventajas y desventajas de método raise boring dependen de las condiciones y peculiaridades

geomecánicas de la mina, a su vez concluye que es un método seguro ya que los equipos se monitorean mediante un panel de control, trabajando con rapidez y eficacia, realizando chimeneas de cara libre, de ventilación, servicios auxiliares. Para su ejecución se necesita considerar diferentes parámetros y se desarrolla empleando diferentes métodos, según sección y longitud, por otra parte, el prototipo de pozo varía de perforación manual con explosivos y excavación mecánica, puede ser manual por escaleras hasta realizar una plataforma temporal.

**Métodos manuales:** Para Salinas (1998), se hace la construcción de chimeneas en las que el ascenso y descenso al interior se hace por escaleras de madera o metal, y la superficie de trabajo es una base de madera, que cambia de posición según se desarrolle el avance. Las secciones más sugerentes por recomendación para sector circular con diámetro de 2.5 mt<sup>2</sup> y una sección de 4.9 mt<sup>2</sup>, mientras que en sección cuadrada es de 6.25 mt<sup>2</sup>, estas chimeneas se realizan con máquinas stoper las cuales tienen como característica perforar verticalmente hacia arriba.

#### **Ciclo de construcción:**

Los tiempos del ciclo son los siguientes:

$T_{PI}$ : Ascenso y colocación de la plataforma. (Entre 20 a 30 min).

$T_A$ : Acuña 20 \* S<sup>0.5</sup>, siendo S: sección de la chimenea.

$T_D$ : marcar diagrama de disparo (15 a 20 min)

$T_P$ : Perforación de diagrama de disparo.

Siendo:

n°: número de tiros

L: largo de perforación (mt)

V<sub>p</sub>: velocidad de perforación (mts/min)

m: número de máquinas perforadoras operando

e: eficiencia por simultaneidad de perforadoras en operación (%) (0.9 – 1 máquina, 0.8- 2 máquinas, 0.75 – 3 máquinas).

Por lo que el lapso de perforación ( $T_p$ ) se determina por:

$$T_p = \frac{n \times L}{V_p \times m \times e} \text{ (minutos)}$$

$T_c = \text{operaciones de carguio de explosivos} \left( 1.5 \text{ a } 2 \frac{\text{min}}{\text{tiro}} \right)$

$T_{tr} = \text{Tronadura de disparo}$

$T_v = \text{ventilación, } 12 \times L^{0.5}$ , siendo  $L$  el largo de la chimenea y valido hasta 180 mt.

$T_f = \text{fortificación, a definir dependiendo del tipo de sostenimiento a colocar.}$

El tiempo del ciclo está determinado por:

$$T_c = T_{PL} + T_A + T_D + T_P + T_C + T_{tr} + T_v + T_f \text{ (min)}$$

Número de ciclos por día se determina de la siguiente manera:

$$N_c = \frac{1.440 \times f_{op}}{T_c \left( \frac{\text{ciclos}}{\text{día}} \right)}$$

(Salinas, 1998, p. 102)

Siendo  $f_{op}$  un factor de utilización del tiempo, depende de la condición de la operación y este varía entre 0.75 – 0.83.

Para Salinas (1998), las ventajas del método convencional son que no necesita de instalar una subestructura precedente, para el inicio de excavaciones, por otra parte el rumbo puede ser modificado, según el avance y la perforación puede alcanzar un excelente dominio estructural; pero, como desventaja es un método que involucra alto riesgo en accidentes e incidentes laborales por realizar trabajos en altura, el cual, se tienen que adoptar medidas de control de seguridad, también consta de invertir mucho tiempo en el desarrollo de construcción y la productividad es baja (p. 103).

**Tabla 1.** Largo de perforación conforme a la sección y n° de tiros.

Dim. (mt)	Ø=1	1.0x1.0	Ø=1.5	1.5x1.5	Ø=2.0	2.0x2.0	Ø=2.5	2.5x2.5
S: m <sup>2</sup>	0.78	1.0	1.77	2.25	3.14	4.00	4.9	6.25
Loerf (mt)								
1.2	x	x	X	X				
1.6				x	x	X		
1.8						x	X	x

N° de tiros								
Rx media	12 a 14	13 a 15	14 a 16	15 a 17	20 a 22	24 a 26	25 a 28	28 a 32

Fuente. Salinas (1998).

**Métodos mecanizados – Jaula trepadora Alimak:** basándose en Salinas (1998) se considera en este grupo, el método usando plataforma trepadora Alimak, este aplica la perforación y voladura convencional, y el ascenso de los trabajadores se desarrolla mediante un ascensor o jaula que emplea el sistema de rieles que se adaptan en las paredes de las chimeneas, el equipo Alimak tiene un accionamiento diésel- hidráulico, neumático o eléctrico.

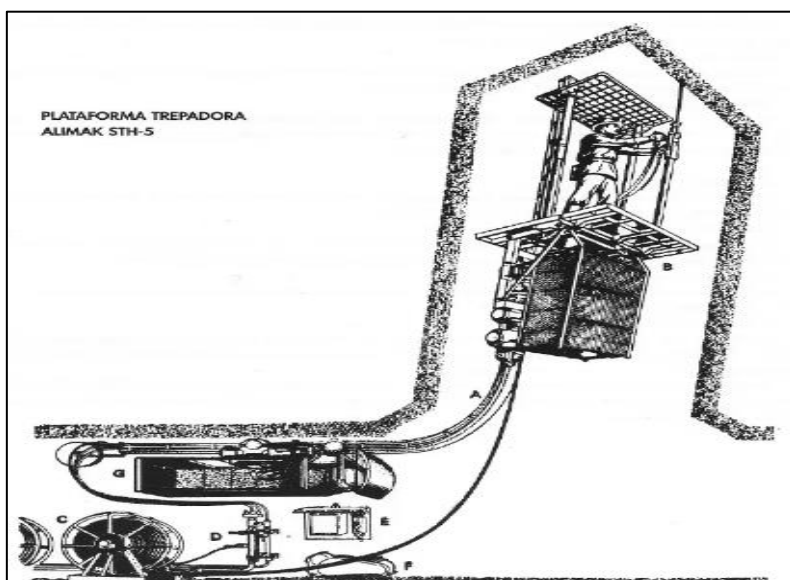


Figura 1. Plataforma trepadora Alimak.

Fuente. Salinas (1998).

### Descripción de las partes del equipo Alimak

Según Giron (2015) describe las partes del equipo de la siguiente forma:

- a. Equipo de accionamiento: está acoplado sobre un soporte en forma de U, unido al carril guía mediante rodillos, este tiene dos engranajes conectados entre sí, de tornillo sin final, con piñones trepadores.

Los engranajes están acoplados a una cadena y un volante, el conjunto tiene un freno centrífugo para descender gravitatoriamente y un motor de aire

comprimido, por otra parte, una viga de sostenimiento está ensamblada al soporte mediante almohadillas amenorantes.

- b. Plataforma de trabajo: es de acero soldado apto para soportar grandes esfuerzos, cuenta con una sección frontal plegable, un escotillón y soportes para barrenos (cubierta protectora y barandilla protectora).

Existe una charnela entre el bastidor y la plataforma, que hace posible poner la plataforma en cualquier ángulo de inclinación. Los diámetros de las patas telescópicas pueden variar, la jaula se encuentra colgada gracias a dos tornillos debajo de la plataforma y puede oscilar pudiendo adaptarse a una chimenea inclinada.

- c. Cubierta protectora: esta parte brinda protección durante el desatado, perforación o voladura.
- d. Equipo de maniobra: las plataformas trepadoras se desempeñan desde el interior de la jaula, pero también es posible que sean accionadas eléctricamente, teniendo un equipo de maniobra.
- e. Jaula: Está ensamblada con dos cadenas de tamaño variante a la viga de sostenimiento, equipada con dos puertas enrollables y una escalera, se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Número máximo de personas: 3 (250 kg)
- Carga máxima entre material y personal: 420 kg
- Peso y carga máxima de dos perforadoras: 400 kg
- Peso máximo de manguera o cable a carga máxima y carga de la perforadora: 690 kg
- Velocidad: 18 m/min o 60 pies/min
- Motor trifásico: 7.5 a 1450 r/min (voltaje continuo)
- Medidas de la plataforma: 1.6 x 1.6 m
- Peso total (incluye la barandilla y la cubierta protectora): 1050 kg
- Peso total estático: 1230 kg/piñón

- Peso total dinámico: 1600 kg/piñón

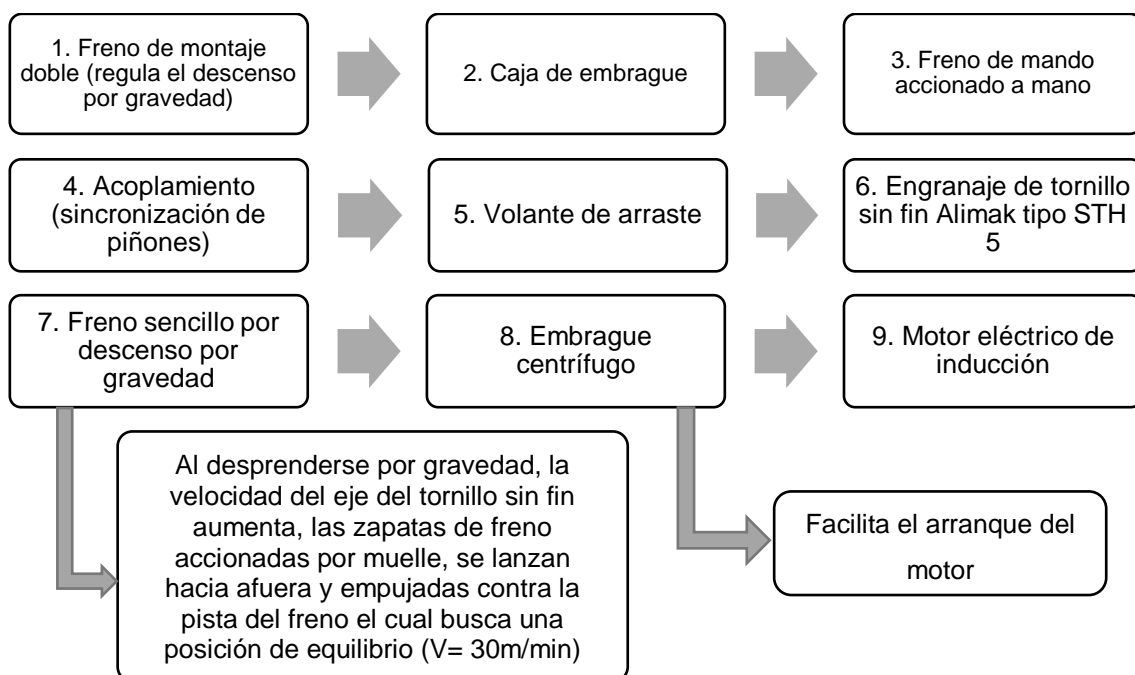
Según Giron (2015) indica que tiene un cable reforzado que provee la corriente a la plataforma trepadora, procedente del carrete de operación automática, el sistema eléctrico está resguardado por relevadores de falla de fuerza. La corriente eléctrica se corta antes de cargar los barrenos y el descenso se realiza por gravedad, por ello las unidades propulsoras se proveen con dobles frenos centrífugos de tal manera que la velocidad se mantenga constante (p.39).

Se tiene que considerar lo siguiente:

- La longitud máxima aproximada de chimenea: 800 a 900 m
- Velocidad de ascenso: 18 m/min
- Velocidad de descenso por gravedad: 25 – 30 m/min
- Potencia de motor: 10 HP

f. Equipo de accionamiento eléctrico: conforme a Giron (2015), consta de los siguientes elementos

Esquema 1. Elementos del equipo de acondicionamiento eléctrico.



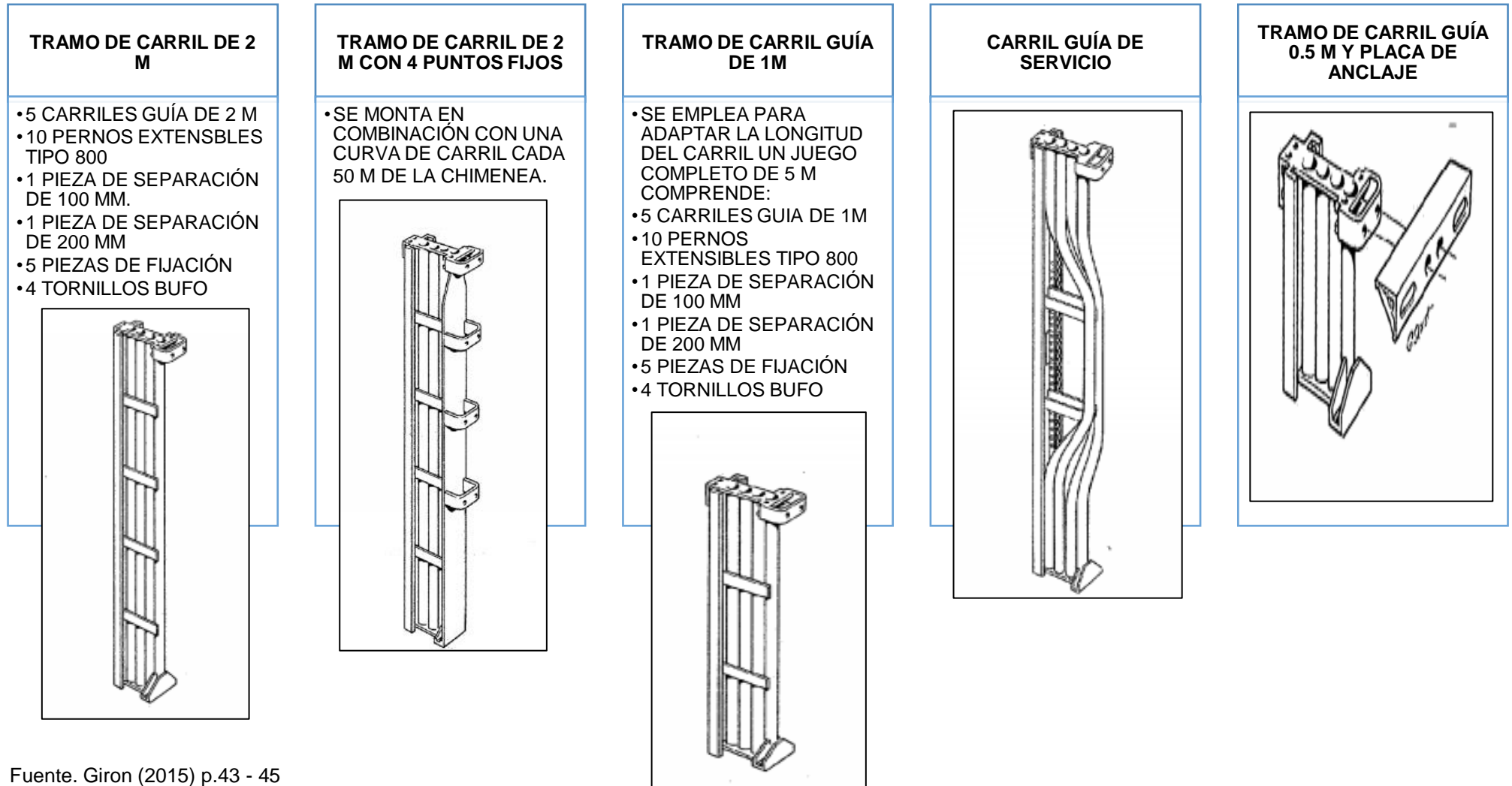
Fuente. Giron (2015) p.40

- g. Alicab: es el ascensor de seguridad empleado durante la construcción de chimeneas largas y estará protegido en la galería horizontal sobre el mismo carril, este comprende un equipo de impulsión similar a la plataforma trepadora.
- h. Carril guía: es el elemento más importante del equipo, una buena construcción de este permite el buen transporte y almacenamiento, cada tramo del carril se precisa a la pared de roca con apoyo una placa de anclaje y dos pernos extensibles. Sus funciones son las siguientes:
- Aguantar y guiar la plataforma
  - Transportar agua y aire hacia el techo de la chimenea para perforación y ventilación.
  - Por medio de rodillos soporta la manguera de aire y/o cable eléctrico

Conforme a Girón (2015), existe tres tipos de tramos de carril guía: tramos de carril guía rectos, carriles guía curvados y carril de guía de servicios.



Esquema 2. Tramos de carril guía rectos.



Fuente. Giron (2015) p.43 - 45

## Carriles guía curvados

Se instala de entrada de  $8^\circ$  antes y después de cada tramo de carril guía de  $25^\circ$ , si es que llegará haber un tramo en que no se puedan ensamblar piezas de separación (pequeños posibles), se acondiciona un tramo de carril guía de cuatro soportes.

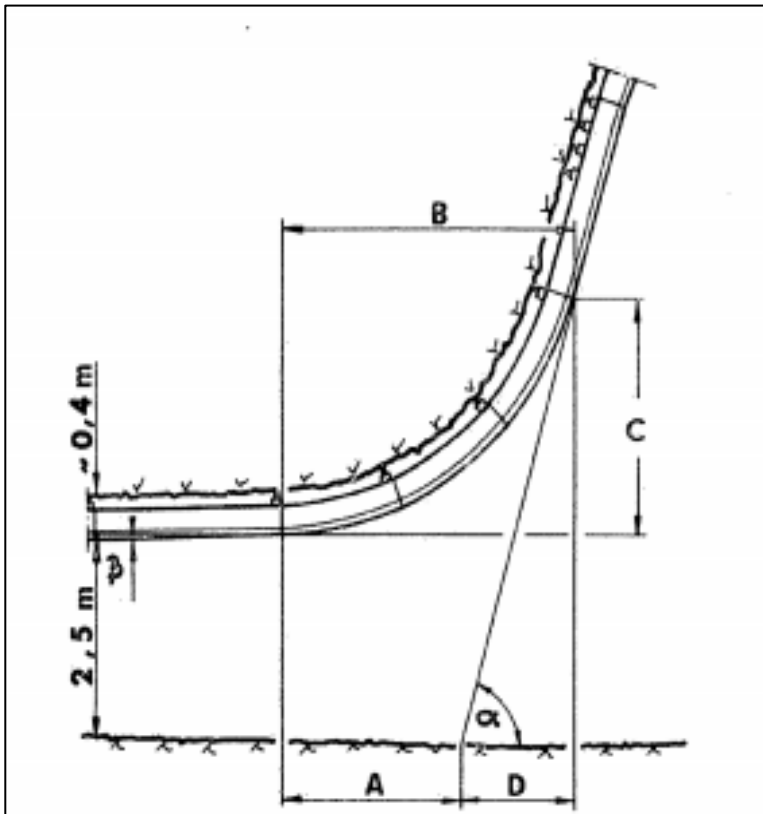
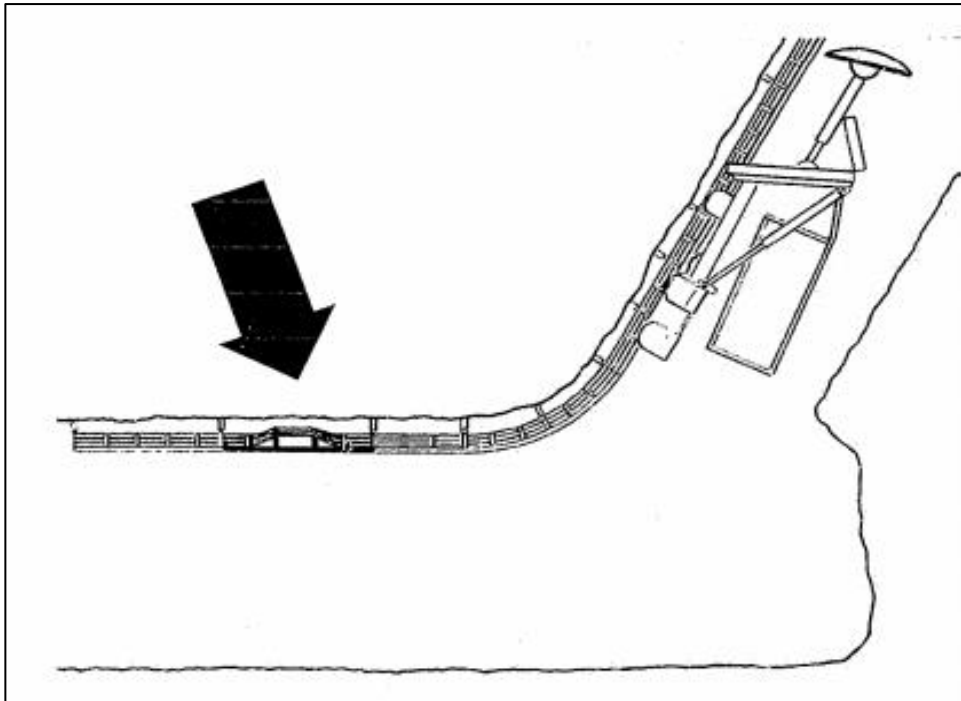


Figura 2. Carril guía curvado.

Fuente. Girón (2015)

## Carril guía de servicios

Sirve para proporcionar el servicio de mantenimiento de la plataforma trepadora, haciendo posible el cambio de ruedas internas y desembragar la arandela de linterna moderadora de velocidad al comprobar el paracaídas, siendo recomendable su aplicación para chimeneas largas en las que se necesite cambio de ruedas.



*Figura 3.* Carril guía de servicios

Fuente. Girón (2015)

i. Carrete de manguera y cable

Esto permite que las mangueras o cables no se averíen al estar expuestos con el material que cae al momento de realizar la chimenea.

j. Equipo eléctrico en la estación

Tablero de mando: este se instala cerca de la plataforma y posee mandos para la conexión y desconexión de la corriente.

Regulador automático de tensión: debido a la caída de tensión a lo largo del cable se recomienda contar con un regulador de energía para que no haya complicación con el motor.

Equipo en jaula: esta posee un interruptor para poder cortar la energía eléctrica, mientras que el suministro de aire y agua se regula a través de otro interruptor situado cerca al tablero de mando.

## Ciclo de construcción

Las etapas son las siguientes:

$T_{AF}$  = Tiempo de ascenso al frente de perforación (min)

$L$  = Longitud media del ascenso (mt.)

$V_a$  = velocidad de ascenso (mt. /min.) , dependerá del tipo de propulsión del equipo.

Considerando lo anterior se determina que:

- $T_{AF} = L/V$  (min)
- $T_A$  = Tiempo de Acuñadura

Donde:

- $T_A = 20 \times S^{0.5}$  (min) en que  $s$  es la sección de la chimenea en  $m^2$ .
- $T_{CR} = 30$  a  $40$  min roca media (Tiempo de colocación del riel).
- $T_D$  = Tiempo de marcar el diagrama de disparo (15 a 20 min).
- $T_P$  = Tiempo de perforación.
  
- $n$  = número de tiros del diagrama
- $lp$  = largo de perforación (mt.)
- $vp$  = velocidad de perforación (mt. /min.)
- $m$  = número de máquinas perforadoras operando en forma simultánea.

Por ende:

$$T_P = \frac{(n \times lp)}{vp \times m \times e} \dots\dots\dots (\text{Min})$$

Se considera que el valor de "vp" varía conforme a la calidad y dureza del macizo rocoso (0,12 a 0,35 mt/min.) y "e" es el coeficiente de eficiencia de la máquina perforadora manual.

- $e = 0,90$  para 1 máquina
- $e = 0,80$  para 2 máquinas
- $e = 0,70$  para 3 máquinas

También se determina que:

$T_{DE}$ : Tiempo de descenso a buscar explosivos

L: Longitud media del ascenso (mt.)

$V_d$ : velocidad de descenso (mt. /min.), dependerá del tipo de propulsión del equipo.

Donde:

- $T_{DE}$ :  $L / v_d$  (min)
- $T_{AE}$ : Tiempo de ascenso con explosivos,  $L / v_a$  (min)
- $T_{CE}$ : Tiempo de carguío del explosivo, 1,5 min/tiro
- $T_{DP}$ : Tiempo de descenso con el personal,  $L/v_d$  (min)
- $T_{TR}$ : Tiempo de despeje y tronadura del disparo, 15 a 20 min
- $T_v$ : Tiempo de ventilación.
- $T_v = 12 \times L^{0,5}$ (min.)
- $T_F$ : Tiempo de fortificación de la chimenea.
- $Fop=0,75$  a  $0,83$

Entonces se determina que el tiempo de construcción resulta de:

$$T_c = T_{AF} + T_A + T_{CR} + T_D + T_P + T_{DE} + T_{AE} + T_{CE} + T_{DP} + T_{TR} + T_v + T_F \text{ (min)}$$

Mientras que el número de ciclos se calcula del siguiente modo:

$$N_c = \frac{1.440}{T_c} \times Fop \dots \dots \dots \text{ciclos/día}$$

(Salinas, 1998, p. 112)

El autor menciona que como ventaja es una técnica que provee seguridad, premura y bienestar al personal, también aporta al transporte de materiales e insumos, y las características del equipo admite ejecutar cualquier maniobra minera, cubriendo la sección de la chimenea.

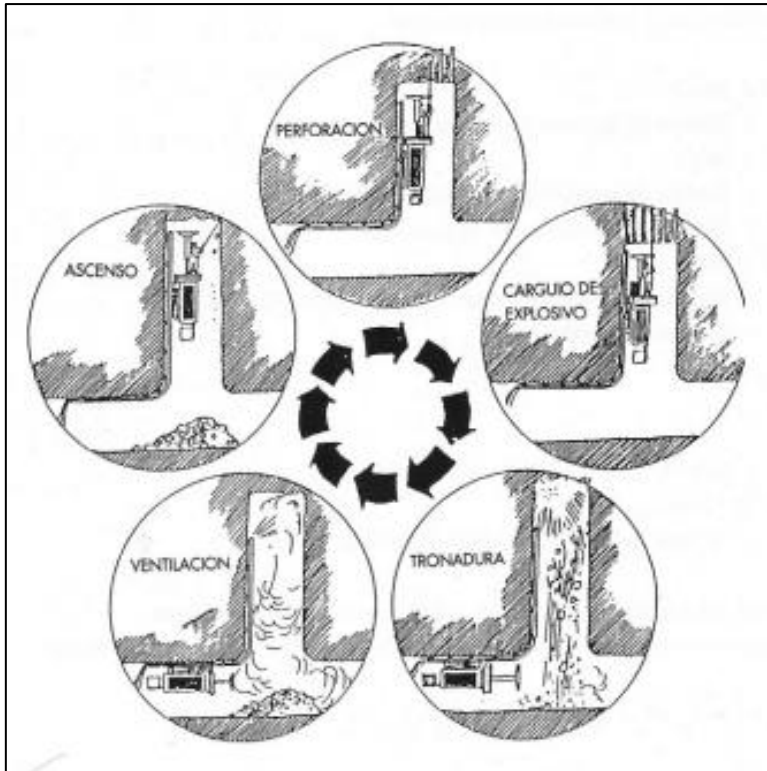


Figura 4. Ciclo de operaciones de plataforma Alimak.

Fuente. Stig Ofsson (1996)

### Métodos vertical cráter retreal

Según Salinas (1998), la teoría de la tronadura tipo cráter se le imputa a C.W. Livingston, el cual fue un instrumento para desarrollar la voladura y utilizar en minería subterránea, muestra que, si una carga esférica es detonada bajo la superficie, como resultado de la voladura formará ondas en todas las direcciones incitando un cráter. Livingston concluyó que, para cargas lacónicas, la longitud de carga (cm) tiene que ser menor o igual a seis veces el diámetro del tiro (cm). Por otra parte, se estipuló que la depresión crítica (la que percibe la acción en forma de grietas y fracturas) resulta del producto del factor de tensión – energía (E) dado en  $m/kg^{1/2}$ , con el peso de la carga (W) dado en kg. (p. 116).

Livingston formula una reciprocidad mediante la ecuación empírica:

$$N = E \times W^{1/3}$$

Donde:

- N: Profundidad crítica, a la cual se perciben los primeros signos de acción en forma de grietas y fracturas.
- E: Factor tensión - energía, constante, característica de cada combinación roca - explosivo (m/kg<sup>1/3</sup>).
- W: Peso de la carga - explosivo (kgs)

Entonces la fórmula se determina de la siguiente forma:

$$d_b = \Delta \times E \times W^{1/3} \dots\dots\dots (2)$$

Donde:

- d : Distancia entre el centro de gravedad de la carga y la superficie, es decir el burden (mts)
- Δ:  $d_b / N$  es la razón de profundidad, número adimensional.

Se hace aplicación de este método en excavaciones de producción y desarrollo teniendo buenos resultados tanto en rendimiento, productividad y seguridad.

**Método usando jaula jora:** Esta emplea una plataforma colgada por una cuerda de acero, el que pasa por un sondaje que va por el foco de la chimenea a ejecutar, esta plataforma es elevada y bajada mediante huinches eléctricos, que tienen una categoría de 20 a 40 pies/min. El diámetro es de 110 a 150 mm con una sección de 6.25 m<sup>2</sup> aproximadamente. (Salinas, 1998).

En la tabla N° 02 indica los parámetros de perforación y tronadura conforme al método de VERTICAL CRATER RETREAT en el cual se considera que:

C: Tiro central , V: tiro vacío , lat: tiro lateral o de contorno

**Tabla 2.** *Parámetros de Perforación y voladura del método V.C.R.*

FAENA	SECCIÓN	NÚMERO DE TIROS	DIÁMETRO DE PERFORACIÓN	TACO SUPERIOR	LONG. DE CARGA	TACO INFERIOR
Mantos blancos	3 x 3 mt	10 (6c, 2v)	6 1/2"	2.5 mt (ripio)	1.5 mt	1.6 mt
Mantos blancos	3.8 mt	10 (4c, 1 v)	6 1/2"	3 mt (ripio)	3 mt	1 mt
El soldado	2.5 x 2.5 mt	5 (1c)	6 1/2"	1 mt (agua)	1 mt	1.4 mt
Andina	1 x 1 mt	5 (1c)	6 1/2"	0.4 mt (arena)	1.3 mt	0.5 mt
El teniente	3 mt	9 (5c)	6 1/2"	0.6 mt (dentritus)	1.2 mt	0.6 mt (dentritus)
River mine (Australia)	3 x 3.5 mt	10 (4c, 2 v)	6 1/2"	2 mt (gravilla)	0.8 mt, 1.2 m (lat)	2.2 mt y 1.8 mt
Centennial (Canadá)	2.4 x 2.4 mt	5 (1c)	6 1/2"	1 mt (agua)	1.2 mt	1.1 mt (dentritus)

Fuente. Salinas, (1998)



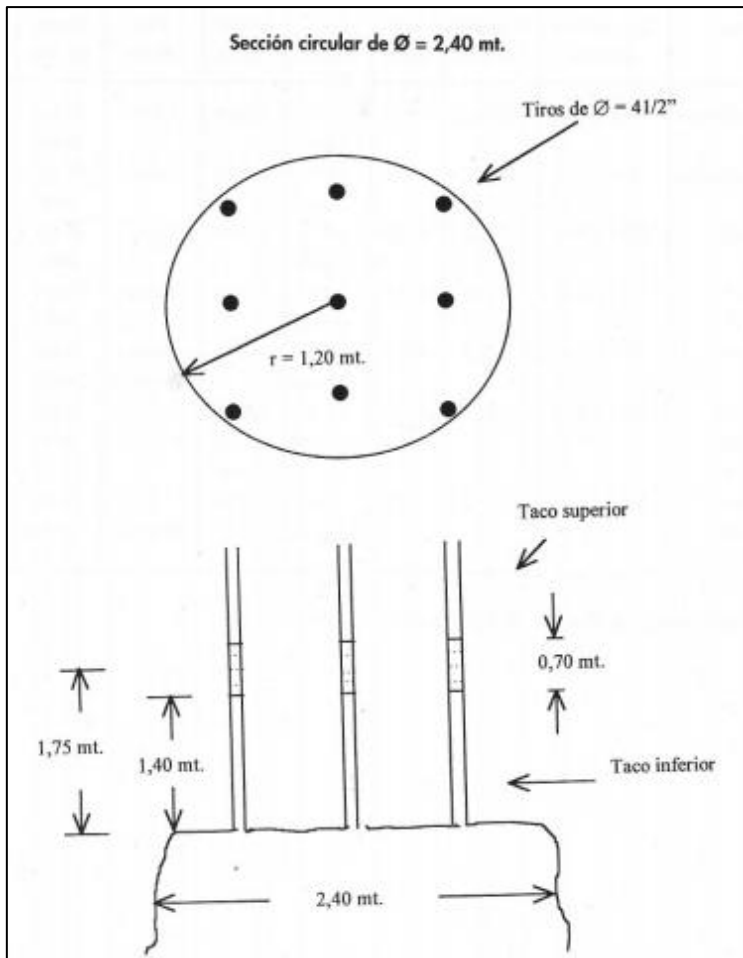


Figura 5. Diseño de la malla de perforación chimenea V.C.R.

Fuente. Salinas, (1998)

### Método Raise Boring

También conocido como Raise Drilling, el cual se aplica para la construcción de chimeneas, según Atlas Copco (2012), la galería empinada podría ser vertical a 90° referente al plano horizontal, las cotas pueden ser subterráneas o en todo caso el nivel superior se puede encontrar en la superficie, por otra parte, este método es aplicable para chimeneas de ventilación, de cara libre o conocidas como slot, chimeneas de paso de mineral entre otros.

Salinas (1998) muestra que se utiliza un mecanismo que construye un tiro piloto de un nivel superior a otro inferior manejando un tricono de 10" a 12 ¼" y después realiza el escariado del tiro piloto a la selección oportuna sin emplear explosivos.

El equipo raise boring conserva bomba de agua, equipo y elementos perforación, unidad de fuerza, ventilación. (p. 130). Es un método altamente seguro, generando buena productividad, aunque se requiere alta capacitación del personal por otra parte una vez que inicia el proceso no hay posibilidad de corregir el rumbo e inclinación.

Para la aplicación del método es necesario realizar un sondeo piloto usando un corte tricono de rodamientos, el avance se realiza añadiendo barras a la columna y los detritos son retirados con agua a presión. La perforación piloto se realiza según el diámetro del varillaje y del escariador, posteriormente se continúa con el ensanchamiento de la chimenea hacia arriba (ascendente), haciendo uso de una cabeza rimadora más grande, la cual perforará en uno o más períodos, consiguiendo el diámetro pedido, haciendo un trabajo seguro y eficaz.

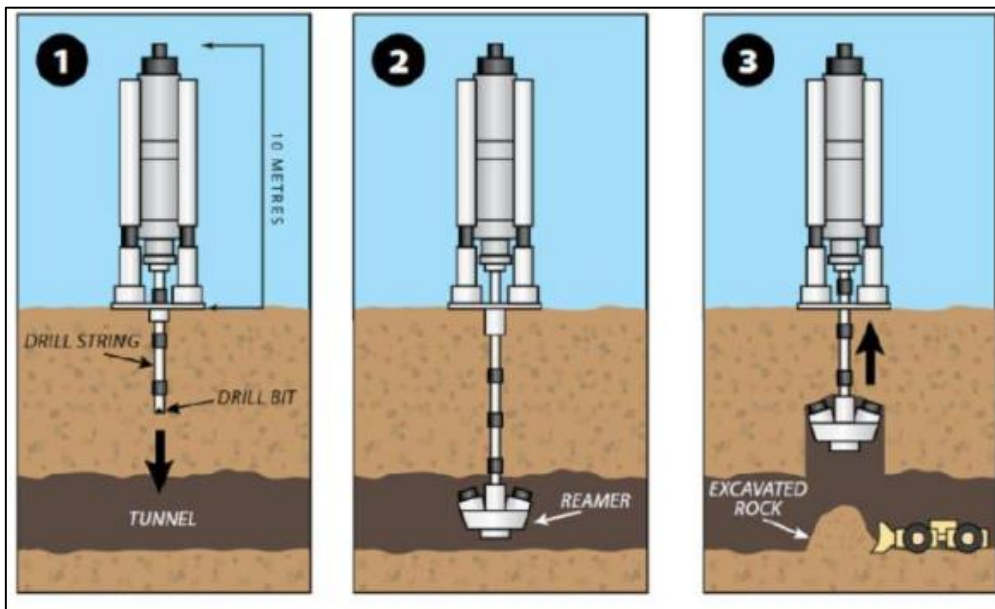


Figura 6. Proceso Raise Boring.

Fuente. Tapia (2016)

Considerando a Llanllaya (2019), menciona que la máquina Raise Boring se aplicó por primera vez en la mina Homer Wanseca, durante el año de 1962 en Estados Unidos siendo un proceso mecanizado para la ejecución de chimeneas o pozos siendo muy rentable a comparación de otros métodos convencionales, puesto que se reduce el personal competente, logrando profundidades entre 100 a 200 metros y en otros casos hasta 2000 metros de profundidad, consiguiendo

elevar la productividad a comparación del uso de explosivos, y presentándose un alto nivel de control y disminución de accidentes e incidentes.

Este método es ideal en cuestión de cuidado al medio ambiente, seguridad y salud en el trabajo, detallando una excelente disponibilidad mecánica la cual permite realizar la construcción de chimeneas en tiempos aceptables, con desviaciones imperceptibles, y considerando que la inversión es aceptable.

Tapia (2016) indica que existen tipos de Raise Boring los cuales son los siguientes:

- **Raise Boring Estándar:** se trata de la perforación de un taladro piloto empleando un tricono, en sentido descendente para llegar al nivel inferior, después del desarrollo de la perforación se acopla un escariador para ensanchar y formar la chimenea logrando el diámetro deseado y los detritos son evacuados usando aire o agua.

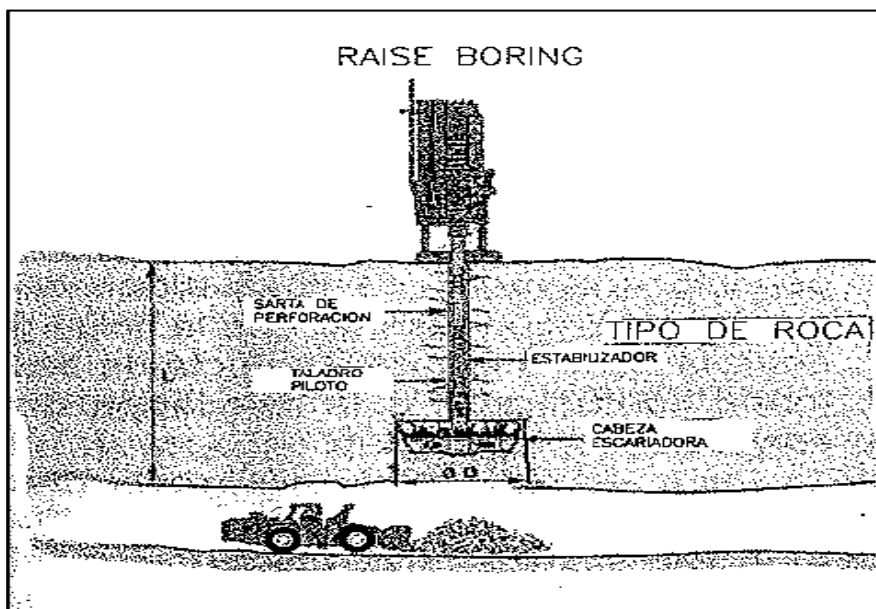
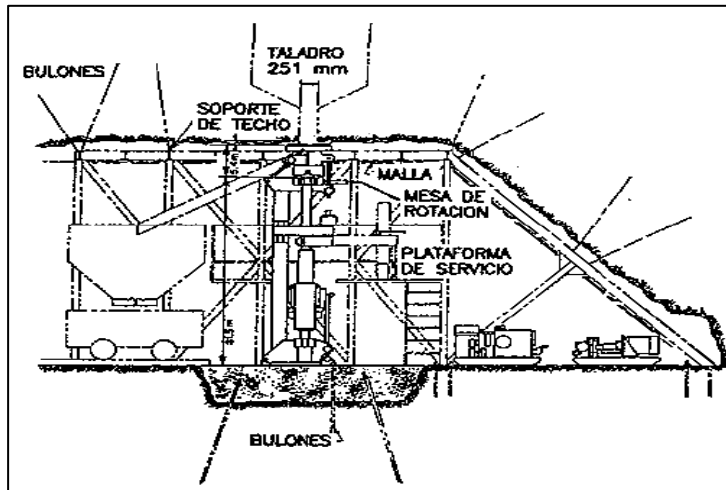


Figura 7. Raise Boring estándar.

Fuente. Tapia (2016)

- **Raise boring reversible:** se basa en realizar la perforación piloto de manera ascendente y lo principal es que no es necesario aplicar barrido de aire o agua, pero los detritos no pueden pasar por la zona anular (entre

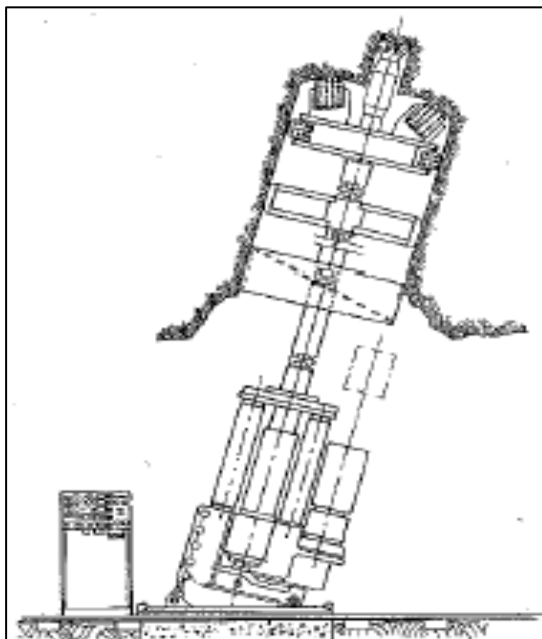
el soporte o varillaje y la pared), por lo que, será necesario acrecentar el diámetro y considerar la protección de la máquina y el perforista.



*Figura 8.* Raise Boring Reversible.

Fuente. Tapia (2016)

- **Raise Boring para huecos ciegos:** El equipo se acondiciona en un nivel inferior y realiza la perforación hasta llegar al nivel superior sin hacer uso de barreno piloto, se aplica para la ejecución de chimeneas poco profundas.

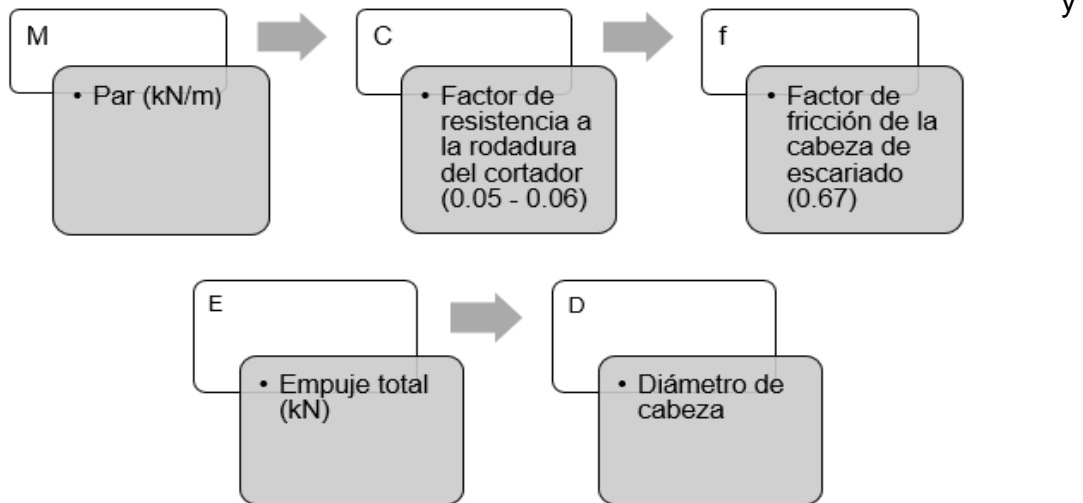


*Figura 9.* Raise boring para huecos ciegos.

Fuente. Tapia (2016).

Por otra parte, Tapia (2016) menciona que es crucial considerar ciertos parámetros de operación los cuales son:

- **Velocidad de rotación:** está condicionada por los cortadores periféricos,



considerando la velocidad máxima de rotación se altera en función inversa al diámetro.

$$W_m = \frac{38}{D}$$

Donde "Wm" es la velocidad máxima de rotación (r/min) y "D" Diámetro de la cabeza de corte (m).

- **Empuje:** este tiene que ser tan elevado como al aguante de varillaje y la cabida del equipo y se determina restando la capacidad de tiro de equipo, el peso del tren de varillaje y la propia cabeza.
- **El Par:** es aquel que permite girar la cabeza del escariado, si el progreso de revolución es mínimo a 1 mm/r se determina usando la siguiente formula:

$$M = C.f.E.\frac{D}{2}$$

Pero si el avance es mayor a 1 mm/r entonces:  $M = C.f.E.\frac{D}{2}.\sqrt{P}$

En este método es necesario tener dos superficies de trabajo, parte superior (al inicio de la perforación) y la inferior (al finalizar la excavación), y realizar estudios geomecánicos los cuales determinan las características del terreno para no tener inconvenientes al determinar la broca y la rima de avance del equipo más aun cuando se trata de roca dura, evitando desviaciones del taladro, ya que solo es aceptable 1%.

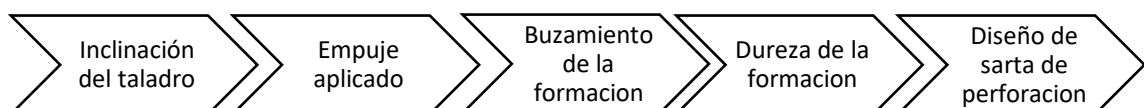
**Tabla 3.** *Concordancia entre el diámetro de varillaje y el tricono.*

Ø Varillaje (mm)	171	203	254	286	327	352
Ø Tricono (mm)	189	229-250	279	311	349	381

Fuente. Tapia (2016).

El método raise boring es un proceso mecanizado para la ejecución de chimeneas o pozos siendo muy rentable a comparación de otros métodos convencionales, puesto que se reduce el personal competente, logrando profundidades entre cien a doscientos metros y en otros casos hasta 2000 metros de profundidad, consiguiendo elevar la productividad a comparación del uso de explosivos, y presentándose un alto nivel de control y disminución de accidentes e incidentes.

Este método es una buena opción para realizar perforaciones con rapidez y seguridad, debido a que cuenta con un avance continuo gracias a la perforación rotativa, los cortadores giran hacia abajo fragmentando la roca, aunque la velocidad varía según la resistencia de compresión simple del macizo rocoso y al haber disminución de personal, minora los riesgos de accidentabilidad, siendo necesario considerar los factores que pueden interferir en la desviación como son:



## Reserva Minera

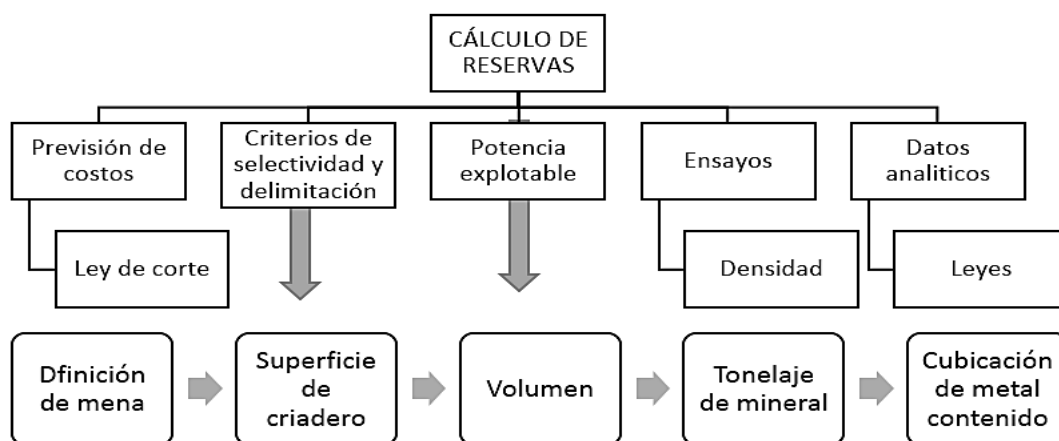
Según SONAMI (2012) es el fragmento de recurso medido económicamente extraíble, según las condiciones económicas y ambientales de un plan minero, se determina mediante estudios de prefactibilidad, incluyendo factores geológicos metalúrgicos, geotécnicos, medio ambientales entre otros que justificaran la posibilidad del proyecto en llevarse a cabo.

Según Código JORC (2016) menciona que existen dos tipos de reservas:

- a. Reservas probables: estima los recursos minerales indicados con un nivel de seguridad en leyes y tonelaje.
- b. Reservas Probadas: estima los recursos minerales medidos y se enfoca en la exploración e informe de muestreo y pruebas (Ley calculada).

Según Linares (2017), la evaluación de reservas es el porcentaje que se determina en un yacimiento, y se pueden calcular usando ciertos métodos desde la fase inicial (geológicas o insitu), consecutivamente se discurre factores como diseño y método de explotación, recuperación, dilución entre otros, considerando como factor principal la calidad y cantidad de la distribución espacial.

Esquema 3. Cálculo de reservas.



Fuente. Linares (2017).

Guerrero (2019) indica que el plan de minado es el grupo de prestaciones a realizarse en un periodo determinado y que es imprescindible contar con ello

para solucionar problemas de manera adelantada, por otra parte, se evitan acciones erradas y pérdidas económicas, por ello se realiza una serie de estudios geológicos, topográficos, geotécnicos los que definirán si un proyecto es económicamente factible.

**- Método de explotación**

Según Herrera (2006), determina que es el conjunto de procesos que se aplican para extraer un recurso de manera ordenada e iterativa, considerando que tanto para yacimientos metálicos y no metálicos se aplican diferentes procesos para la extracción del mineral, considerando la profundidad del yacimiento existen dos maneras explotación a tajo abierto y subterráneo. Para determinar el método ideal se necesitan considerar ciertos parámetros:

**Tabla 4.** *Índices de selección.*

<b>CATEGORÍAS PRIMARIAS (DEPENDENCIA)</b>	<b>CATEGORÍAS SECUNDARIAS</b>
Condiciones naturales (invariantes)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geología</li> <li>• Geografía</li> <li>• Ingeniería económica</li> </ul>
Capacidades de la compañía (variante)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Administración de negocios</li> <li>• Aspectos monetarios</li> <li>• Aspectos de gerencia</li> </ul>
Política Pública (semivariante)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Regulaciones</li> <li>• Impuestos</li> <li>• Contratos</li> <li>• Incentivos</li> </ul>
Situación de la Técnica (Ingeniería de Minas)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Distinciones sobresalientes</li> <li>• Sistemas totales (Diseño/Control)</li> <li>• Espacios forzados (y regulado)</li> <li>• Prácticas de Administración y Evaluación</li> <li>• Profesionalismo</li> </ul>

Fuente. Portal Revista Seguridad Minera (2013).



**Tabla 5. Métodos de minería subterránea según yacimiento y componentes.**

Geometría		Estructura principal del techo o piso	Componentes (pilares, paredes)	Métodos de minería subterránea	Tipo
Tabular	Plano (e inclinado)	Buena	Buena	Cámaras y pilares (espacios <6m (20ft))	Auto Soportable
		Buena	Mala	Cámaras y pilares; bancos y pilares	Soportado
		Mala (el techo puede colapsar entre los pilares)	Buena	Paredes extensas, pilares	Excavado
		Mala	Mala		Excavado
	Empinada	Buena	Buena	Sublevel stoping (distancia entre 6-31 m (20 - 100 ft)) Amplia sección del túnel	Auto Soportado Después De Ser Rellenado
		Buena	Mala	Shrinkage	Auto soportado después de ser relleno
		Mala	Buena	Corte y relleno	----- ---
		Mala	Mala	Sublevel caving y top slice tramos >6 m (20 ft) (por flujo de gravedad)	Excavado
Masivo	Buena	Buena	vertical sílices	Auto soportado	
	Buena	Mala	-----	Soportado después del relleno	
	Mala (Estratos)	Mala	Bloques De Explotación (Tramos De 34m)	----- --	

Fuente. Portal Revista Seguridad Minera (2013).

### a. Perforación y Voladura

Conforme al blog de CAMIPER (2019), menciona que en gran parte de proyectos de minería subterránea, el área principal para la obtención de mineral es el de Perforación y Voladura, trabajo que consta de peligros y riesgos, por esto es preciso que se considere a detalle los procedimientos y los equipos que se emplearán en este trabajo, la perforación cumple con la función de realizar huecos cilíndricos llamados taladros, posteriormente se le

pondrán explosivos apoyados de ciertos accesorios para después ser arrancado y volado el material del frente de trabajo.

Según Chipana (2015) indica que el principio de la perforación es la rotura de la roca que se concibe gracias a dos operaciones: la penetración (perforar) y la fragmentación de la roca (Voladura), la primera se genera haciendo uso de medios mecanizados o hidráulicos para generar orificios para fijar explosivos dentro de ellos, la segunda busca romper o fragmentar grandes volúmenes de roca aplicando energía gracias a los explosivos usados.

Palomino (2016) menciona que la perforación óptima cumple con los siguientes patrones: uso adecuado de guidores y mantener burden uniforme en toda la extensión del taladro, para así lograr un avance eficiente, por otra parte, la distribución correcta de los taladros de alivio genera que la cara libre sea ideal para reflejar las ondas de tensión para lograr una voladura óptima, que al estar vinculada directamente con la perforación debe cumplir con la utilización adecuada y proporcionada de explosivos, y su considerada administración.

Referente al blog de CAMIPER (2019), existen cuatro tipos de perforación, los cuales se pueden visualizar en la Tablas N° 06.

**Tabla 6.** *Tipos de perforación.*

<b>Perforación manual</b>	<b>Perforación neumática</b>	<b>Perforación eléctrica</b>	<b>Perforación hidráulica</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicación de un barreno y se golpea con una comba, después se hace girar un determinando ángulo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicación de perforadoras convencionales</li> <li>• Usa como energía el aire comprimido.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se usa un generador eléctrico.</li> <li>• Perforadora de barreno helicoidal (taladros de 90cm de long)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicación de equipos sofisticados robotizados</li> <li>• Emplea energía hidráulica y tiene un tablero de control.</li> </ul>

Fuente. CAMIPER (2019)

## Ventilación

Considerando a Suttty (2016), la ventilación es una fuente de apoyo para lograr que un determinado caudal de aire (flujo) se distribuya en todas las labores de la mina logrando un ambiente óptimo y saludable para los trabajadores, manteniendo aire de calidad, cumpliendo con los límites máximos permisibles aprobado en el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional aprobado por el MEM. En el D. S. N° 024- 2016-EM.

**Tabla 7.** Límite máximo permisible de gases tóxicos.

<b>GAS</b>	<b>EN PPM</b>	<b>(%)</b>
Oxígeno (O <sub>2</sub> )	-	19.5 % min
Monóxido de carbono	25	0.0025%
Gases nitrosos (NO)	5	0.0005%
Dióxido de carbono	5000	0.5 %
Dióxido de azufre	5	0.0005%
Ácido sulfúrico	10	0.001%
Metano (CH <sub>4</sub> )	5000	0.5%
Hidrogeno (H <sub>2</sub> )	5000	0.5%
Aldehídos	5	0.0005%

Fuente: Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional. Decreto Supremo 024-2016- EM.

## Plan de seguridad y salud ocupacional

Novoa (2016) afirma que es uno de los aspectos más importantes al realizar cualquier trabajo, más aún si son trabajos de alto riesgo, se necesita tener bajo control cualquier situación de alto riesgo, puesto que puede generar algún incidente o accidente ocasionando pérdidas materiales o incluso la pérdida de mano de obra, para ello contar con un plan de SSO ayuda a mantener, respetar y controlar realizando una serie de actividades la cultura de prevención de accidentes.

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Tipo y diseño de investigación**

En relación con el objetivo principal de esta tesis y los beneficios para el marco minero subterráneo, esta investigación es de tipo Aplicada, según lo planteado por Lozada (2014), menciona que la investigación aplicada promueve al investigador a encontrar soluciones a un problema determinado buscando conocimiento coherente y detallado, para una mayor eficiencia.

Para esta investigación se consideró el diseño cuantitativo no experimental por que se han obtenido datos a través de la observación donde no se está manipulando ninguna información de las variables observadas.

Dentro de este tipo de diseño no experimental, esta investigación es transversal ya que se realizó en el mes de abril del 2021 (un momento único en el tiempo) y descriptivo, puesto que se describirá a detalle la condición actual de la zona de estudio y los resultados obtenidos entre ambos métodos. Considerando a Fernández, Hernández y Batista (2014) indica que la meta principal de este diseño es manifestar cada detalle de la investigación explicando y fundamentando, considerando las variables.

#### **3.2. Variables y operacionalización**

##### **3.2.1. Variables:**

###### **Variable independiente (V.I):**

Método Raise Boring: Este método es uno de los más destacados en la actualidad para ejecutar labores mineras, como son las chimeneas en minas subterráneas, empleando un equipo que realiza perforaciones piloto de un nivel superior u otro inferior, para después ensanchar la perforación instalando un escariador, lo cual hace posible la construcción de chimeneas.

Para Contreras (2015), define que la técnica de raise boring es ideal para construir chimeneas, descartando riesgos de accidentes o incidentes concernientes con la ostentación directa entre trabajadores y la excavación, reduciendo la contaminación del medio ambiente.

Ramos (2019), señala como concepto que el método raise boring conlleva a que la construcción de chimeneas que se desarrollen de manera segura y en tiempos óptimos, mientras que los detritos, producto del proceso, tienen tamaño ideal, es factible de cargar y determina el éxito económico de proyectos mineros e hidroeléctricos, aunque el costo de capital para su adquisición es elevado, pero al considerar su uso de forma metódica y un adecuado mantenimiento, la inversión retornará en corto plazo.

Quinto (2019) contextualiza que el método raise boring, al construir chimeneas, necesita contar con la información geomecánica referente al comportamiento mecánico del macizo rocoso y sus factores, lo que hará posible la realización de labores determinados conforme al plan de minado, por esto, el método raise boring es recomendable en casos donde las condiciones geomecánicas de preferencia sean estables, de ese modo se ejecutará el trabajo sin inconvenientes.

#### **Variable dependiente (V.D):**

Proceso de minado: se refiere a realizar un diseño de instalaciones de mina y un plan para organizar las operaciones, el diseño se inicia definiendo la manera en que se realice la explotación y extracción de minerales considerando un modelo geológico, de tal modo que, se permita minimizar costos extrayendo la mayor cantidad posible de minerales, para ello, los expertos prueban una serie de métodos de minado enfocándose en el tipo de yacimiento, considerando optimización de costos de operaciones.

De la Cruz (1999) señala que el proceso de minado es la forma anticipada en cómo deben desarrollarse las fases de operaciones para lograr metas

a mediano y largo plazo, determinando el modo de trabajo siendo precisos, razonables y compatibles con el objetivo de la empresa.

Avelino (2013) define como proceso de minado al conjunto de operaciones que interfieren en un proyecto según convenga, conforme a los objetivos, analizando los problemas y calificando riesgos, adecuando posibles soluciones para realizar un trabajo eficiente, considerando la vida útil del proyecto adaptando nuevos sistemas según las necesidades de la empresa.

Piérola (2017) define que el proceso de minado es la sucesión de actividades a realizar conforme a un análisis integral de factores de producción de una determinada empresa, logrando un planeamiento ideal y efectivo aprovechando las reservas consideradas útiles y comerciables.

Damas y Ramos (2018), menciona que el proceso de minado es el conjunto de técnicas que se aplican para explotar un tipo de mineral económicamente valioso, y se determinan según las necesidades del proyecto, considerando la geometría de la veta, las condiciones geomecánicas, el análisis económico del proyecto, cálculo de reservas minables, entre otros.

### 3.2.2. Operacionalización de variables.

**Tabla 8.** Operacionalización de variables.

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
VARIABLE INDEPENDIENTE/ V1 aplicación del Método Raise Boring	Es un método idóneo para la construcción de chimeneas, en diferentes niveles de una mina, haciendo uso de un equipo que realiza perforaciones piloto de un nivel superior a otro inferior para después ensanchar la perforación instalando un escariador lo cual hace posible la construcción de chimeneas.	Ejecución mecanizada de pozos entre dos o más niveles, iniciando con un sondeo piloto y después el ensanche del mismo.	Análisis e investigación de laboratorio	Logueo de perforaciones	Nominal
				Ensayos de laboratorio mecánica de rocas	
			Modelo geomecánico	Geología/geo – estructuras	
				Macizo rocoso	
				Condiciones de esfuerzos insitu	
			Construcción de la chimenea	Diseño de la perforación	
				Parámetros de la operación	
				Caracterizas del macizo rocoso	

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b> /V2 Proceso de Minado Tajo OB2B	Diseño de instalaciones de mina y un plan para organizar las operaciones, el diseño se inicia definiendo la manera en que se realice la explotación y extracción de minerales considerando un modelo geológico de tal modo que se permita minimizar costos extrayendo la mayor cantidad posible de minerales	Medio por el cual se extraen minerales producto de excavaciones en la corteza, con un estudio previo del yacimiento.	Método de explotación	Sub level stoping	<b>NOMINAL</b>
			Equipos de Mina	Perforadoras, equipos para carguío y acarreo	
			Producción	TM/día	

Fuente. Propia del autor.



### **3.3. Población y muestra – muestreo**

#### **3.3.1. Población:**

El trabajo de investigación tiene como población los cuerpos mineralizados de la U.M. Cerro Lindo siendo los siguientes: Ore Body 1, Ore Body 2, Ore Body 2B, Ore Body 5, Ore Body 5B, Ore Body 6, Ore Body 6A, Ore Body 6B, Ore Body 7 (fase de minado) y Ore Body 8, Ore Body 3, Ore Body 4 (Fase de exploración) ubicadas en la comunidad campesina de Chavín, Provincia de Chincha, región de Ica.

#### **3.3.2. Muestra:**

Como muestra se consideró el cuerpo mineralizado OB 2B block 422 (tajos T – 119A, T-179, T-119AS), encontrándose entre los niveles 1880 - 1910 de la Unidad Minera Cerro Lindo S.A., siendo seleccionados según los criterios específicos de Inclusión y exclusión:

##### ***Criterios de Inclusión:***

- Cuerpo mineralizado OB2B
- Método Sub level stoping
- Empresa formal

Se considera este cuerpo mineralizado puesto aportará el 4% del programa de producción a comparación de otros cuerpos mineralizados, deseando lograr la extracción del mineral de manera óptima y rentable usando nuevas técnicas.

##### ***Criterios de exclusión:***

- Cuerpos mineralizados que tengan producción de medio o alto.
- Empresa informal.

La muestra escogida se determinó por muestreo no probabilístico tomando en cuenta técnicas e instrumentos aplicados insitu.

### **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad**

Para recolectar información se empleó las técnicas de: análisis documental y de campo.

Técnica de investigación documental: Según Campos (2015) es aquella que permite recaudar todo tipo de información de medios confiables, ya sean libros, artículos, tesis en repositorios de universidades nacionales o internacionales, con su respectiva autoría, la cual facilita tener una base para enfocarse en el problema y darle una solución.

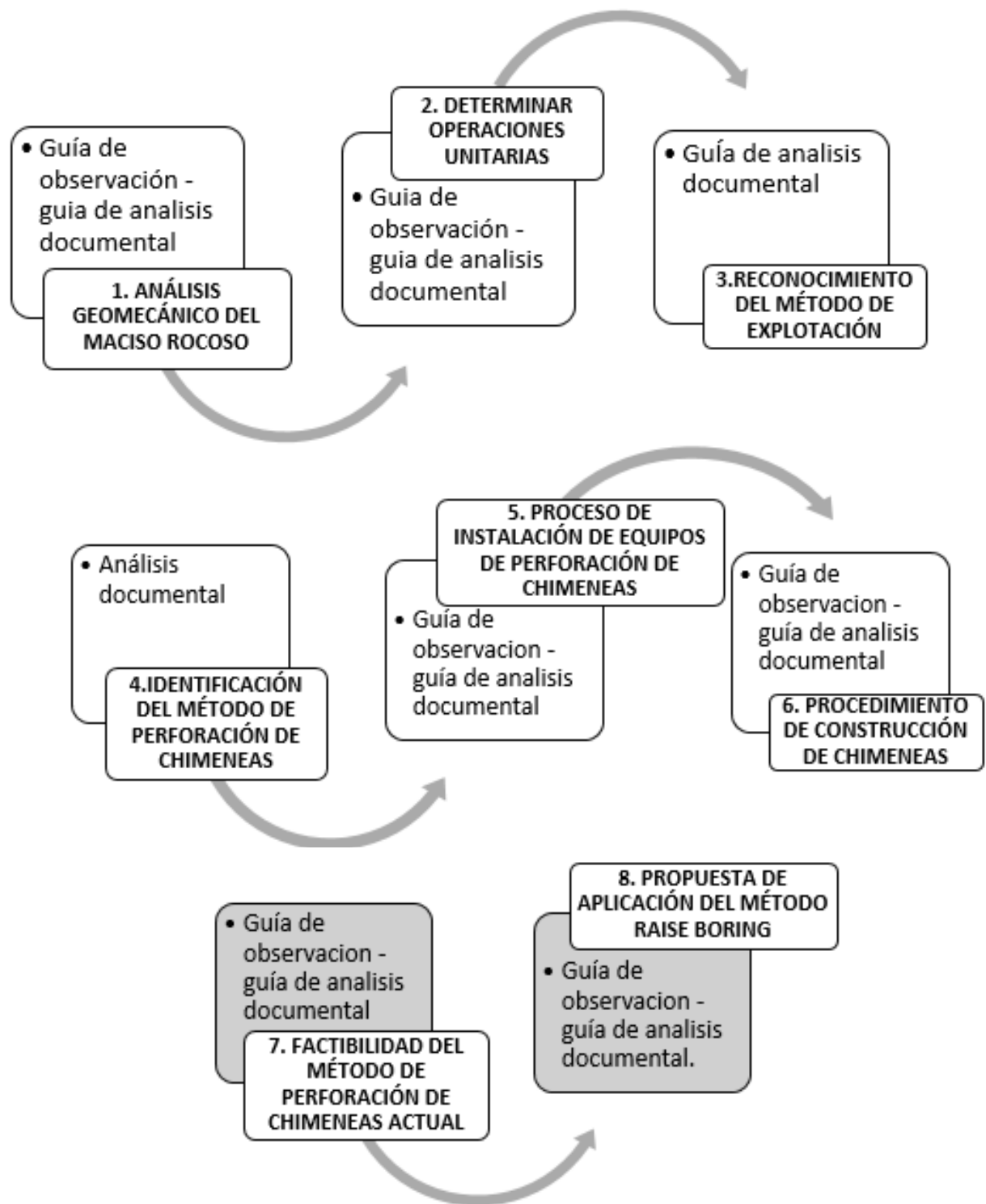
Se aprovecha el parafraseo y diferentes citas textuales las cuales se recogen de la búsqueda de autores hallados en libros, revistas, páginas web, inclusive repositorios universitarios, que aportarán a la investigación

Técnicas de investigación de campo: Conforme a Rojas (1997) ayuda a la recopilación de información a partir de la observación directa desarrollada insitu, de la situación y condiciones actuales en las que se encuentra el lugar de estudio interactuando con el ambiente y evaluando intensivamente los antecedentes, para enfatizar el objetivo de estudio en este caso tratándose de la aplicación del método raise boring en la U.M Cerro Lindo.

Los instrumentos que se aplicaron para la recolección de datos fueron:

- El software de Microsoft office, empleando los programas de Word y Excel para plasmar los datos adquiridos en campo.
- Software Arcgis para planos geográficos y geológicos.
- También se usó como medio de obtención de información los análisis de laboratorio (guías)
- Materiales de oficina como lapiceros, agenda para el registro respectivo de información.

### 3.5. Procedimiento



### 3.6. Método de análisis de datos

Para esta investigación se aplicó el método analítico, la cual es una técnica que permite centrarse en la experimentación y la razón, es así que, se diagnostica la anomalía de la situación rigiéndose de la práctica directa y el razonamiento.

Por otra parte, se consideró aplicar el método sistemático, el cual ayuda a conservar un orden para acercarnos a la comprensión sistemática de lo investigado, de este modo se permitirá examinar y contrastar todos los puntos críticos de la realidad enfocándonos en las pruebas de hipótesis y realización de gráficas según los datos obtenidos.

### 3.7. Aspectos éticos

Poniendo en práctica los principios enseñados por parte de mi alma mater, Universidad Cesar Vallejo Filial Chiclayo, los aspectos éticos que se ha tomado en cuenta para la realización de esta investigación son los siguientes:

**Política anti – plagio:** un delito reconocido es el plagio, es decir que una investigación o trabajo se reconozca como propia sin serlo, es por ello que, se inculca la originalidad en las investigaciones desarrolladas, por ello, el centro de investigaciones cuenta con el programa de evaluación de trabajos de investigación (Turnitin) que hace posible identificar cualquier coincidencia con fuentes bibliográficas publicadas.

**Privacidad Anonimato y Confiabilidad:** los datos obtenidos por parte de la empresa solo fueron aplicados en la realización de esta investigación con el determinado permiso para aplicarlos con guías en sus instalaciones.

**Claridad en los objetivos de la investigación:** los objetivos planteados desde inicios del proyecto, tienen que ser precisos y claros para determinar los resultados y conclusiones.

**Profundidad en el progreso del contenido:** Se requiere hacer uso de bibliografía para obtener información detallada que aporte al proceso de la investigación y complementa los conocimientos adquiridos para tener dominio en el tema.

## IV. RESULTADOS

### 4.1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

#### a. Ubicación:

La unidad minera Cerro Lindo se ubica al margen izquierdo del río Topará, en las cuencas de la quebrada de Topará y Pucasalla, al sur este de Lima, en la comunidad campesina de Chavín, distrito de Chavín en la provincia de Chincha, región Ica, a una altitud entre los 1 820 – 2 200 m.s.n.m., tomando la ruta de carretera Panamericana Sur desde Lima se llega en aproximadamente 2.5 horas (180 km).

**Tabla 9.** Ubicación geográfica coordenadas UTM.

NORTE	ESTE	ALTITUD
8 554 400	393 100	1 820 – 2 200 m.s.n.m.

Fuente. U.M. Cerro Lindo.



**Figura 10.** Mapa de ubicación del proyecto.

Fuente. Lara (2019).

## **b. Geomorfología:**

Esta zona es bastante accidentada, presenta pendientes pronunciadas las cuales caracterizan a las áreas donde el batolito de la costa es cortado por los ríos conformando el desarrollo de los valles en V, según se sube hacia las cumbres este relieve tiende a suavizarse topográficamente. Dado que hay una pendiente abrupta y el encajonamiento de la quebrada, es difícil la formación de suelos que principalmente son antiguas terrazas preservadas por el levantamiento de los andes.

## **c. Clima y Vegetación**

Según el informe desarrollado por SVS Ingenieros (2012), La temperatura alcanza en promedio los 15.5 °C, con una temperatura máxima en promedio de 13.5 °C con una temperatura mínima promedio de 13.5 °C. El promedio máximo de precipitación por año es de 102 milímetros, con un promedio mínimo es de 63.5 milímetros. La elevación oscila entre 1500 y 2200 msnm. Los suelos están restringidos al encajonamiento de la quebrada, limitando la producción agrícola que alcanza solo para la alimentación de una familia. El río topara el cual atraviesa el proyecto es de régimen torrencial durante el periodo de diciembre a febrero. Durante los meses de lluvia este llega a tener precipitaciones de duración variable con incremento de velocidad de los tiempos, pero durante los meses de marzo a noviembre el calor se eleva, esto vinculado a que hay una disminución de la velocidad de los vientos, por otro lado se identifica en el área del proyecto formaciones vegetales y elementos florísticos importantes para su preservación, existen ambientes ecológicos como: pajonales, áreas de laderas de roca, montes riberos, considerando la zona B referente a la planta desaladora y suministro de energía, se identifican tres tipos de cobertura vegetal: vegetación riparia, tillandsial y cactáceas

En la zona A (zona industrial), hay manifestación de oca silvestre y tomate silvestre, por otra parte, cuenta con una zona que consta de especies silvestres como el paca, el algarrobo y la tara.

Referente a fauna se identificaron 17 especies de aves, pocos ejemplares de lagartijas de lomas sapo de lima y gecko. En la zona B se realizó un estudio considerando tres zonas: zona desértica, quebrada seca y cerros, en esas tres zonas se identificó la presencia del zorro costero.

#### **d. Geología de la unidad minera Cerro Lindo**

La unidad minera Cerro Lindo, está ubicada al Sur del Perú, en la región de Ica, el yacimiento geoméricamente se orienta al Nor Oeste, ubicado en la quebrada Topara, paraje de Huapunga del distrito de Chavín, provincia de Chíncha departamento de Ica, con un buzamiento al Sur Oeste y un Angulo de inclinación de 65°, con una longitud aproximada de 800 metros, un espesor de 200 metros, considerando una profundidad de 450 metros, es un yacimiento de sulfuros masivos vulcano génicos emplazado en la cuenca tras arco cretácica, está directamente relacionado a fallas profundas las cuales han permitido el acceso de los fluidos hidrotermales en aguas someras. Metalogeneticamente, se ubica dentro del grupo Casma, unidad volcánica submarina de edad albina (cretáceo medio) el cual aflora paralelamente a la costa, desde el norte del Perú hasta el departamento de Ica, ocupando el flanco oeste de la cordillera occidental de los Andes y la llanura costera.

estas unidades volcánicas sedimentarias se emplazaron en el periodo jurásico superior constituyéndose un margen de subducción activa, paralela a la línea de la costa actual, con un arco de islas asociado a una cuenca tras arco, en donde la placa oceánica se sumerge con alto ángulo debajo de la placa continental. La deposición de sulfuros masivos, dentro de este ambiente de cuenca tras arco, está fuertemente vinculado a fallas sin volcánicas o sin deposicionales y/o subsistencias de caldera que habrían consentido el ingreso de fluidos hidrotermales los cuales evolucionaron hasta conformar los depósitos y ocurrencias que se conocen, ver figura



Figura 11. Cuenca Tras Arco y Subduccion.

Fuente. Área de geología Cerro Lindo.

#### e. Geología Regional:

La empresa se posiciona al lado Oeste de la cordilla Occidental y en la zona intermedia del valle del rio Topará, pertenece a la unidad geomorfológica valle juvenil en V, con fuertes pendientes y fondo estrecho, modeladas rocas intrusivas de batolito de la costa y rocas volcánicas sedimentarias de la formación Huaranguillo.

Según INGEMMET la mina Cerro Lindo está ubicado en el flanco Suroeste del anticlinal cuyo eje (N40°-50°O) cruza al Noreste del campamento mina y una falla de carácter regional (N50°O) que coincide con la quebrada Pahuaypite. Así mismo, en el estudio de (Amec 2002) describe la presencia de tres fallas de carácter regional cuyos rumbos son Falla NO, Falla NE, y Falla NS.

Según SVS Ingenieros (2015) las principales unidades lito-estratigráficas se tiene rocas volcánicas y sedimentarias (Formaciones Huaranguillo del cretácico Inferior - Medio) compuesto por andesitas, areniscas calcáreas y calizas silicificadas, por otra parte, el batolito de la Costa del Cretáceo superior el cual está representado por la granodiorita, tonalita y diorita, pertenecientes a la Súper Unidad Incahuasi. (p. 42)



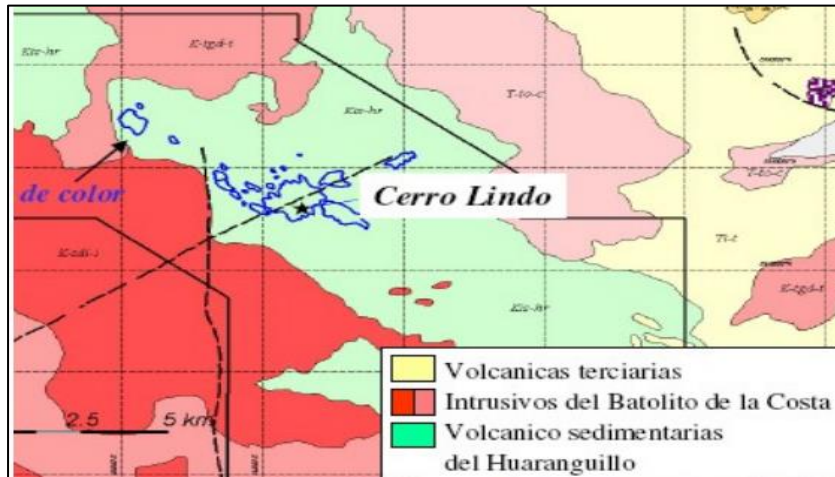


Figura 12. Geología Regional de la Unidad Cerro Lindo.

Fuente. Área de geología Cerro Lindo.

#### f. Geología Local:

El depósito se encuentra ubicado en peñones volcánicos de estructura félsica, condescendida por rocas de prototipo riolíticas gradando a riodacitas (Caja piso y caja techo), prestando, con una tonalidad blanca grisácea con matices rosados, azulinas a verduscas. El proceso de metabolismo originó como resultado estructuras granoblásticas y porfidoblásticas. El acople mineralógico radica en cuarzo, feldespato, biotita, sericita, andalucita y pirita.

Por otra parte, hay presencia de componentes piroclásticos félsicos constituidos por petulancias de cenizas distales y petulancias lapilli polimícticos, compuesto por fracciones sub redondeadas y bien clasificados. Las exhalitas son muy peculiares en yacimientos VMS, se analiza en la plataforma o en la línea superior de las juntas de sulfuros masivos.

SVS Ingenieros (2015) menciona que las rocas intrusivas provienen de la era cretácica y se forman por granodioritas, envolviendo los elementos volcánicos sedimentarios (roof-pendant), por otra parte, se muestran diques formando la serie volcánica sedimentaria.

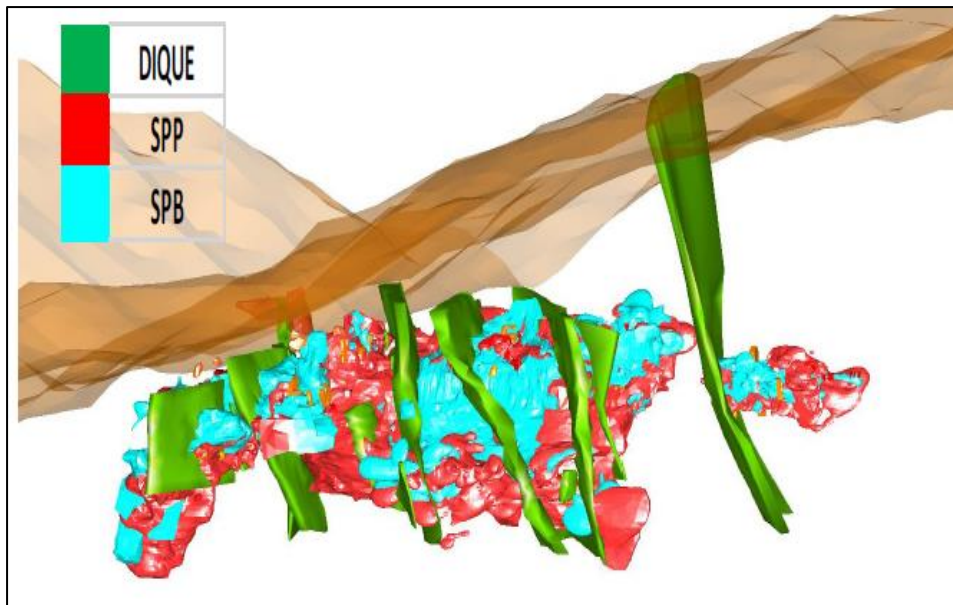


Figura 13. Vista Isométrica de la Geología Local

Fuente. SVS Ingenieros, 2015.

#### **g. Geología Económica:**

El yacimiento se conforma por sulfuros masivos del volcano – genético, teniendo una orientación noroeste, y un buzamiento al suroeste de 65°. Se calcula que tiene un largo de 1 350 m, un ancho de 83 m y con una depresión de 245 m. El depósito presenta siete cuerpos mineralizados denominados Ore Body 1 al Ore Body 7, aunque en el estudio se evaluó solamente los cuerpos mineralizados OB2B (Ore Body 2) y OB5 (Ore Body 5).

Estos tipos han sido relacionados al estilo kuroko, ya que tiene similitud en su formación, edad y sobre todo presencia de baritina. El cuerpo está formado por cuerpos lenticulares y apelados de sulfuros, diferenciándose 3 tipos de sulfuro masivo y uno semi masivo.

#### **h. Mineralización**

Este yacimiento de depósito de sulfuros masivos, cuya extensión mineralógica de 1,350 m de largo, 83 m de ancho y 245 m de profundidad, ocupa un graben de intracuenca con orientación hacia el NW, este depósito

está inclinado hacia el SW, con buzamiento promedio de 65°, producto de la deformación orogénica.

Está conformado por seis cuerpos principales los cuales son conocidos como OB-1, OB-2, OB-3-4, OB-5, OB6, y OB-7, además de pequeños cuerpos satélites como el OB-2A y OB- 5A. Estos cuerpos mineralizados están limitados por las fallas sin-volcánicas del graben. Fallas prominentes de tendencia NE son observadas en Cerro Lindo y son interpretadas como estructuras sin-volcánicas

Cerro Lindo está compuesto por cuerpos lenticulares y apilados de sulfuros masivos comprendiendo pirita (50-95%), Esfalerita marrón, Calcopirita y Galena en menores proporciones. La baritina está presente en cantidades considerables (10-60%), especialmente en las porciones superiores de los cuerpos minerales. Zona de Gossan, donde se encuentran óxidos de fierro como Hematita, Jarosita y Limonitas producto de la lixiviación, la baritina es de habito sacaroideo con arcillas, mientras los sulfuros primarios piríticos se visualizan como brechas de colapso con bastante oxido de fierro producto de la desintegración de la pirita. Zona de óxidos de Cobre.

Se caracteriza por constituir una zona rica en sulfatos de cobre, predominando la calcantita como Principal constituyente. Zona de enriquecimiento secundario, horizonte donde se ha precipitado minerales secundarios de Cobre, como Calcosita y Covelita. Zona de sulfuros primarios, aquí se ubican sulfuros primarios divididos en dos horizontes evidentemente diferentes, el dominio de Zn-Ag-Pb- Ba denominado Black Ore y el dominio Fe-Cu denominado Yellow Ore.

En la Figura 14. Se observa el zonamiento desde superficie, producto del intemperismo del depósito cerro lindo

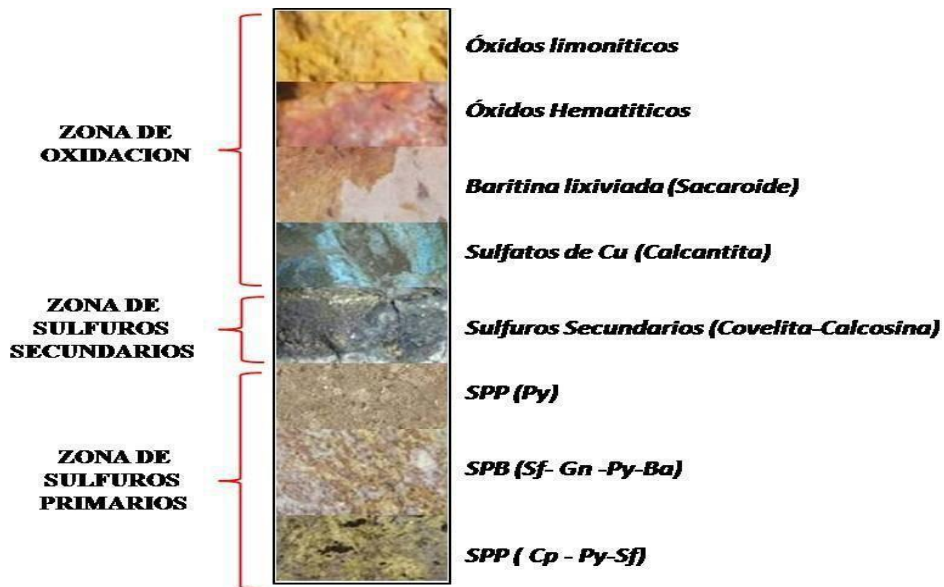


Figura 14. Secuencia De Alteración Supergéna.

Fuente. Área de geología Cerro Lindo.

En la siguiente tabla 10, se muestra un resumen de las características del yacimiento cerro lindo en cuanto a su génesis.

Tabla 10. Características de la Unidad Minera Cerro Lindo.

<b>ORIGEN</b>	Formación en Ambientes Submarinos. Generalmente asociado a vulcanismo bimodal, a lo largo de domos de composición riolítica a riodácica.
	Se formaron por el ascenso de fluidos hidrotermales y la mezcla con agua de mar, la cual produce el reemplazamiento de la roca debajo del fondo oceánico y la exhalación de mineralización que precipita comportándose como sedimento.
<b>MARCO TEORICO</b>	Presenta ambientes de Rift.
	Cuencas de Intra-arco y Tras-arco con régimen extensional.
	Sulfuro Masivo Barítico (SPB-Zn), se muestra en forma bandeada, rico en zinc, plomo y plata, abarca más del 50% de los sulfuros totales, incluyendo la baritina. Muestra mineralización consistente en esfalerita, calcopirita, galena, galena argentífera, de textura granular gruesa y bandeada

<b>3 TIPOS DE SULFURO MASIVO Y UNO SEMI-MASIVO</b>	<p>Sulfuro Masivo Barítico rico en cobre (Cu-SPB), muestra una mineralización de baritina, piritita, pirrotita, calcopirita y marmatita, este tipo de sulfuro es menor la piritita que en los sulfuros SPB-Zn, presenta una textura homogénea, bandeamiento difuso y poco en minerales de zinc. En su mineralogía presenta mayor temperatura que SPB-Zn.</p>
	<p>Sulfuro Semi-Masivo (SSM), contiene entre 20% y 50% de sulfuros, principalmente piritita estéril en forma de parche, venillas y diseminados, con una granulación fina, encontrándose en forma de una envolvente alrededor de los sulfuros masivos, cuya piritización en forma diseminada es mayor en la zona de caja piso que en la caja techo.</p>
	<p>Sulfuro Semi-Masivo (SSM), contiene entre 20% y 50% de sulfuros, principalmente piritita estéril en forma de parche, venillas y diseminados, con una granulación fina, encontrándose en forma de una envolvente alrededor de los sulfuros masivos, cuya piritización en forma diseminada es mayor en la zona de caja piso que en la caja techo.</p>
<b>CARACTERISTICAS PETROLOGICAS</b>	<p>Está asociado a vulcanismo bimodales principalmente y en condiciones submarinas, que tienen presencia de hialoclastitas y peperitas (lava con sedimentos</p>
	<p>Alojados en zonas cerca a domos de naturaleza riolítica a riodacítica. suelen estar presentes en cuerpos brechados.</p>
<b>MINERALES PRESENTES</b>	<p>Chipre: Au-Cu-(Zn), Fe y Mn</p>
	<p>Ganga: cuarzo, rodocrosita, fluorita, calcita, baritina, piritita, clorita, siderita, ankerita, sericita, adularia, caolinita.</p>
<b>METALES</b>	<p>Chipre: Au-Cu-(Zn), Fe y Mn.</p>
	<p>Besshi: Cu, Zn, (Au), Ni, Ag, Co, Cr y halos de Mn.</p>
	<p>Kuroko: Au, Pb en gossan, Cu, Zn, Ag, Au, Se, Sn, Pb, Ba, As, Bi y Fe.</p>

<b>CARACTERISTICAS GENERALES</b>	Estilos de mineralización (forma): Estratoligadas y estratiformes, en ocasiones subconcordantes e inclusodiscordantes con sistemas de alimentación en stockwork.
	Zonamiento metálico, presentan mineralización Pb-Zn en niveles superiores y Cu-(Au) en niveles más profundos.
	Enriquecimiento supergénico y también existencia de masas (bolsonadas) en zonas restringidas.

Fuente. U.M. Cerro Lindo.

## 4.2. INVESTIGACIÓN DE CAMPO Y LABORATORIO

### a. Mapeo Geomecánico de las labores subterráneas

Esta apreciación se efectuó gracias a estaciones geomecánicas, también citado como mapeo por celdas, el cual se aplicó a la prolongación de los niveles y subniveles de explotación. En cada estación se anotó y cuantificó las más importantes peculiaridades de las familias de discontinuidades. En cada progenie se estableció el buzamiento (Bz) y dirección de buzamiento (DBz), como otras características geomecánicas (espaciamiento, la aspereza, la manifestación de agua entre otros).

Por otra parte, se estableció el perfil del componente y el nivel de capacidades y volumen de los mismos. Los índices RQD se calcularon a través de la repetición de discontinuidades (Hudson y Priest, 1976) y el número total de discontinuidades por metro cúbico Jv (Palmstrom, 1982). Como resultado total se reconocieron 60 estaciones geomecánicas a lo largo del Ore Body 2 y Ore Body 5, se identificó que 16 estaciones están situadas en la roca encajonante, 8 en el dique y 36 en el mineral.

En dichas estaciones se distinguió entre dos a tres familias de diaclasas, consignando un total de 160 diaclasas, con el propósito de tener mayor

pesquisa estructural, se realizó 3 líneas de referencia, una en el OB2 (Nv1770 CX291) y dos en el OB5 (Nv 1740 CX14 y Nv 1740 CX19). Se presenta en la Tabla N° 09 el lugar de las estaciones geomecánicas realizadas y sus orientaciones.

**Tabla 11. Mapeo geomecánico según estaciones geomecánicas.**

Ubicación	Dominio litológico	Estación geomecánica	Sistema de diaclasas		
			Fam 01	Fam 02	Fam 03
OB2B	SPP	EG – 01	82/100	65/180	80/310
OB2B	SPP	EG – 02	85/60	65/180	35/220
OB2B	SPP	EG – 03	85/320	45/250	85/50
OB2B	SPP	EG – 01	80/270	75/160	35/260
OB2B	SPP	EG – 02	65/230	30/230	60/310
OB2B	SPP	EG – 03	55/230	85/340	40/300
OB2B	SPP	EG – 04	85/130	15/40	-
OB2B	Dique	EG – 05	10/100	82/100	70/50
OB2B	SPP	EG – 06	58/230	88/310	30/230
OB2B	SPP	EG – 07	70/55	82/170	60/290
OB2B	Volcánico	EG – 08	70/300	35/50	85/230

Fuente. SVS Ingenieros (2016).

Se dedujo la clasificación geomecánica manejando el sistema RMR (Bieniawski, 1976) en cada una de las estaciones y se ejecutó la recaudación de especímenes de macizo rocoso para los ensayos de carga puntual; y de ese modo dar una apreciación y el comentario de cada estación geomecánica.

#### **b. Logueo de perforaciones diamantinas**

Al realizar el logueo de perforaciones se toma en cuenta el CRITERIO DE LOGUEO GEOTÉCNICO, en el cual se aplica la clasificación geomecánica RMR de Bienlawski en los testigos de perforación con la aplicación de gráficos o ábacos empíricos de Rimas Pakainis; el estado del agua subterránea es de condición seca, valorándose en 10, considerando que los niveles 1680, 1740 y 1770 no cuentan con condiciones húmedas. En cuestión al RQD se tomó en cuenta las discontinuidades naturales, ignorando las fracturas mecánicas.

Considerando el LOGUEO DE LOS TESTIGOS DE PERFORACIÓN, se realiza el relogueo geotécnico en base a los testigos de perforación de 4 taladros diamantinos, tres de ellos se ubican el OB5 y el otro en el OB2, se inspeccionan con la finalidad de hermanar tipos de litología y valuar las peculiaridades físicas, de este modo se determinó la proporción de recuperación, el índice RQD, y la resistencia de compresión de la roca al realizar los ensayos de las condiciones de las juntas.

**Tabla 12.** Listado de taladros relogueados.

SONDEO	CUERPO	COORDENADAS (M)		COTA	AZIMUT	INCLINACIÓN
		ESTE	NORTE	msnm	(*)	(°)
CL-13-GEO - 1740 - 09	OB5	393286.94	8553725.65	1755.1	318	-10
CL-13-GEO - 1740 - 16	OB5	393313.09	8553697.04	1756.36	42	-10
CL-13-GEO - 1740 - 20	OB5	393194.14	8553783.57	1752.53	223	-48
CL-13-GEO - 1770 - 13	OB2	392838.35	8554020.89	1778.66	45	-15

Fuente. Área de Geomecánica UM. Cerro Lindo.

### c. Recopilación del modelo 3D en tajeos

Para realizar un modelo estructural en 3D, se realizaron estudios estructurales, corroborando los registros de datos geotécnicos y planos por nivel para validar la calidad y cantidad de información, se compararon lecturas geotécnicas con el propósito de verificar la calidad de data, siendo cuatro sondajes geotécnicos entre el OB2B y OB5, donde se registraron 70 mediciones geotécnicas levantándose datos en los tres niveles de 1680, 1710 y 1740 del OB5. Logrando determinar que los datos obtenidos de las diferentes labores son aceptables al emplearse en conjunto con data ya registrada de la empresa, considerando que se realicen mejoras cada periodo.



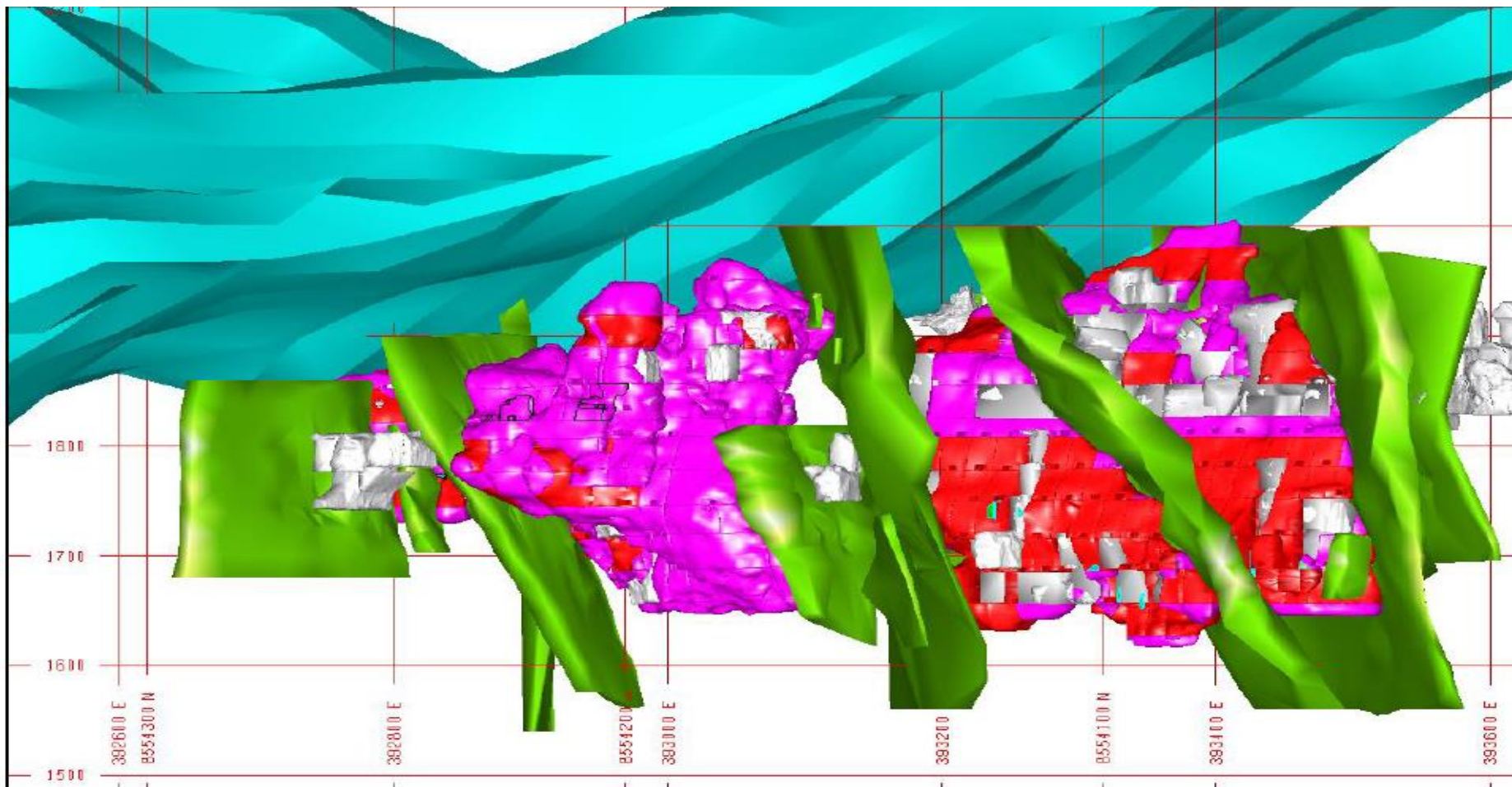


Figura 15. Vista Longitudinal del Modelo 3D

Fuente: Área de Geomecánica UM. Cerro Lindo

#### d. Ensayos de Laboratorio de Mecánica de Rocas

Se desarrollaron estos estudios para establecer las características físicas y mecánicas de la roca intacta, los especímenes fueron de distintos niveles y también de los testigos de las perforaciones diamantinas según litologías.

Se realizaron ensayos de propiedades físicas, de resistencia mecánica, elásticas, además se ejecutaron 104 ensayos de carga puntual en el laboratorio de mecánica de rocas de la SVS tanto regulares como irregulares, de testigos de perforación y muestreo.

**Tabla 13.** *Relación de Ensayos Ejecutados en Laboratorio.*

LITOLOGÍA	TRIAxIAL	UCS	TRACCIÓN INDIRECTA	PROPIEDADES FÍSICAS	CARGA PUNTUAL
VOLCÁNICO	15	16	1	4	39
DIQUE	5	4	1	2	10
SPP - F	5	2	-	1	8
SPP - M		2	-	1	4
SPP-G		2	1	1	12
SPB-F	5	-	-	1	1
SPB-M		3	1	1	16
SPB-G		3	-	1	4
ENCLAVE	-	-	-	1	10
TOTAL	30	32	4	13	104

Fuente. SVS Ingenieros (2016).

- Propiedades físicas

Gracias a las muestras se determinaron las propiedades tales como: porosidad ( $\eta$ ), densidad seca ( $\rho_d$ ) y absorción, las cuales fueron ensayadas siguiendo lo conforme al ensayo de corte simple en roca.

**Tabla 14.** Resultados de propiedades físicas de los testigos.

MUESTRA	LITOLÓGÍA	DENSIDAD SECA (GR/CM3)	DENSIDAD SATURADA (GR/CM3)	POROSIDAD APARENTE (%)	ABSORCIÓN (%)
M1	DIQUE	2.73	2.74	0.48	0.17
M2	VOLCÁNICO	2.72	2.73	0.9	0.33
M3	VOLCÁNICO	2.79	2.81	1.99	0.72
M4	ENCLAVE	2.83	2.84	0.95	0.34
M5	SPP	4.85	4.86	1.12	0.23
M6	SPB	4.55	4.57	1.76	0.39
CL-10-533*	VOLCÁNICO	3.02	3.024	0.44	0.148
CL-10-501*	DIQUE	2.779	2.782	0.319	0.115
CL-10-525*	SPB	4.454	4.459	0.511	0.115
CL-10-501*	SPB	4.579	4.585	0.628	0.138
CL-10-525*	SPP	4.88	4.885	0.49	0.101
CL-10-533*	SPP	4.015	4.021	0.518	0.132
CL-10-501*	VOLCÁNICO	3.255	3.262	0.64	0.197

Fuente. SVS Ingenieros (2016).

- Ensayo de Resistencia a la Compresión Simple (Uniaxial)

Para este ensayo se consideró 32 muestras, las cuales se obtuvieron por los mapeos y los testigos de perforación diamantina para obtener la resistencia a la compresión simple de la roca intacta ( $\sigma_{ci}$ ).

Las muestras fueron preparadas siguiendo la norma ASTM D4543, mientras que los ensayos de compresión simple se realizaron respetando la normativa ASTM D2938, los valores que estableció dicho ensayo fueron los siguientes:

**Tabla 15. Resumen de Resultados del ensayo.**

DOMINIO LITOLÓGICO		DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA DE LAS MUESTRAS	Nº DE ENSAYOS	RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE (MPA)	
SPB	SPB-M	Baritina grisácea de grano medio/ piritita de granos regulares. Alta cantidad de esfalerita diseminada. Chispas de galena, calcopirita y arsenopirita.	1	59.93 (*)	
			2	71.61 (*)	
			3	83.77	
	SPB-G	Baritina deleznable y cristalizada masiva. Granos grandes de sulfuros diseminados.	4	25.93	
			5	37.00	
			6	46.00	
SPP	SPP-F	Piritita de grano fino masivo. Afanítico, compacto y masivo.	7	79.94	
			8	86.93	
	SPP-M	Piritita de grano mediano masivo. Chispas de calcopirita, bornita.	9	66.00	
			10	74.00	
	SPP-G	Piritita de grano grueso masivo. Chispas de calcopirita, arsenopirita.	11	21.76 (*)	
			12	33.95	
Volcánico (Caja Piso)		Volcánico gris claro. Alteración argílica. Presencia de óxidos. Sulfuros diseminados.	13	22.35	
			Volcánico gris claro, con mediana cantidad de caolinita, alunita y sericita. Sulfuros diseminados	14	73.06
				Volcánico gris claro. Poca cantidad de caolinita, alunita y sericita. Sulfuros diseminados.	15
			Volcánico gris claro. Poca cantidad de caolinita, alunita y sericita. Sulfuros diseminados. Presencia de cuarzo.		16
				17	138.39
			18	145.00	
Volcánico (Caja techo)		Volcánico gris con bastante cloritización. Con presencia de caolinita y alunita.	19	77.00	
			Volcánico- sedimentario gris claro con alteración filica con presencia de arcillas.	20	91.06
				21	95.52 (*)
			Volcánico gris con chispas de piritita, calcopirita, bornita y arsenopirita. Cierta alteración argílica. Poca cantidad de arcillas.	22	127.60
				23	146.01
				24	158.00
				25	176.00
			Volcánico- sedimentario gris claro con alteración filica con piritita y cuarzo.	26	152.27
				27	163.00
				28	191.00
Dique		Andesita porfírica con granos grandes de cuarzo.	29	202.86	
			30	210.60	
			31	212.00	
			32	283.72 (*)	

Fuente. SVS Ingenieros (2016).

- Ensayo de Carga Puntual (Point Load Test)

Esta prueba permite establecer el índice  $I_s$  (índice de carga puntual corregido para un diámetro de muestra de (50) en testigos que necesitan poca preparación (formas regulares e irregulares), estima la firmeza a la compresión simple de la roca intacta y las pruebas se realizaron conforme a la norma ISRM (1985) y ASTM D5731 – 02.

Se perpetraron 104 ensayos (testigos y muestras irregulares), los ensayos fueron axiales, la carga se impuso siguiendo el eje del núcleo, para realizar el ensayo se empleó el equipo modelo A125 de Master SRL, los resultados fueron los siguientes:

Tabla 16. *Resumen de los Valores  $I_s$  (50) conforme a la Litología.*

<b>LITOLOGÍA</b>	<b>CANTIDAD DE ENSAYOS</b>	<b>MIN DE <math>I_s</math> (50)</b>	<b>MÁX. DE <math>I_s</math> (50)</b>	<b>PROMEDIO DE <math>I_s</math> (50)</b>
Dique	10	6.5	13.7	8.9
Enclave	10	1.1	5.2	2.8
SPB	21	0.1	2.4	0.7
SPP	24	0.1	7	2.4
Volcánico	39	1.3	12	5.9

Fuente. SVS Ingenieros (2016).

- Resistencia a la compresión Triaxial

Esta prueba establece la resistencia a la compresión de un testigo de roca intacta, que se encuentre en estado no desaguado, expuesto a una presión de aislamiento y una carga axial, este ensayo permite determinar el ángulo de roce interno y cohesión de roca intacta.

**Tabla 17. Resultados de los Ensayos de Compresión Triaxial.**

DOMINIO LITOLÓGICO	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	$\sigma_3$	$\sigma_1$
SPB (Grano, medio)	Baritina deleznable masiva. Granos de írina regulares, arsenopirita y bornita	1	43.95
		3	78.23
		6	109.88
		9	133.61
		11	149.44
SPP (Grano medio)	Pirita de grano mediano masivo. Chispas de calcopirita, arsenopirita, bornita.	1	48.14
		3	75.64
		6	101.43
		9	142.69
		11	159.02
Volcánico	Volcánico gris claro con pirita masiva. Presencia de cuarzo.	1	79.94
		3	73.92
		6	194.26
		9	243.26
		11	352.42
	Volcánico gris claro con chispas de sulfuros. Presencia de arcillas (caolinita, alunita) y sericita.	1	171.28
		3	208.96
		6	216.67
		9	201.25
		11	276.61
	Volcánico gris claro con chispas de pirita granos de cuarzo medianos. Cierta alteración Fílica.	1	32.84
		3	92.56
		6	153.76
		9	213.48
		11	262.74
Dique	Andesita porfirítica con granos medianos/grandes de cuarzo.	1	313.74
		3	335.23
		6	352.42
		9	401.42
		0.5	300.85

Fuente. SVS Ingenieros (2016).

- Resistencia a la tracción (Método Brasileiro)

En este ensayo se aplica una carga lineal de compresión en el eje del diámetro de un disco de roca.

**Tabla 18.** Resultados Ensayos de tracción indirecta.

<b>DOMINIO LITOLÓGICO</b>	<b>DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA</b>	<b><math>\sigma_t</math> (MPa)</b>
SPB (Grano medio)	Baritina Deleznable, cristalizada y masiva. Presencia de arcillas. Granos medianos de pirita, esfalerita y calcopirita.	1.76
SPP (Grano grueso)	Pirita de grano grueso masivo. Chispas de calcopirita, y arsenopirita.	3.41
Volcánico (Caja Piso)	Volcánico gris claro con pirita diseminada. Cierta alteración argílica.	13.2
Volcánico (Caja techo)	Volcánico gris claro con chispas de sulfuros. Alteración Argílica. Alteración Filica. Presencia de arcillas (caolinita, alunita), cuarzo y sericita	10.42
Dique	Andesita porfírica con granos medianos/grandes de cuarzo. Poca presencia de caolinita, alunita y sericita.	18.55

Fuente. SVS Ingenieros (2016).

#### **e. Macizo rocoso**

Las características geomecánicas tienen como propósito determinar la condición y clasificación del macizo rocoso; además, ayuda a zonificar el macizo en dominios estructurales conforme a la estructura y geomecánica.

- Roca intacta

Conforme a los distintos ensayos en el laboratorio se analizaron, según la roca predominante ubicado en caja piso, caja techo y veta cercana, obteniéndose data destacada para esas zonas; estaban compuestos roca volcánica en la roca encajonante y en los diques sulfuros de pirita y baritina.

Para obtener la resistencia a la compresión simple se aplicó la siguiente ecuación:

$$\sigma_c = FI_{s(50)}$$

Is (50) = Índice de carga puntual corregido para un diámetro de muestra de 50 mm (en MPa).

$\sigma_c$  = Resistencia a la compresión simple estimada a partir del Is (50) (en MPa).

F = Factor de conversión (Varía entre 10 – 50)

**Tabla 19.** Factores de Conversión estimados para el Proyecto.

DOMINIO LITOLÓGICA	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	UCS (Mpa)	Is(50) (MPa)	FACTOR DE CONVERSIÓN (F)
SPB	Baritina deleznable, cristalizada masiva. Granos grandes de sulfuros diseminados	36.31	0.85	40
SPB	Baritina Grisácea de grano medio con pirita diseminado y alta cantidad de ef diseminada. Chispas de galena, calcopirita y arsenopirita.	83.77	2.36	35
SPP	Pirita de grano fino masivo. Afanítico. Compacto y masivo.	86.93	4.8	18
SPP	Pirita de grano mediano masivo. Chispas de calcopirita, arsenopirita y bornita.	63.47	3.27	19
SPP	Pirita de grano grueso masivo. Chispas de calcopirita, arsenopirita y bornita.	33.95	3.02	11
VOL (M1)	V. gris claro, poca cantidad de caolinita, alunita y sericita. Sulfuros diseminados. Presencia de cuarzo.	121.09	5.83	21
VOL (M5)	Volcánico- sedimentario gris claro con alteración fílica con puntos de pirita.	138.57	8.39	18
VOL (M3)	Volcánico gris con chispas de pirita, calcopirita, bornita y arsenopirita. Cierta alteración argílica.	152.65	6.1	25
DIQUE	Andesita porfirítica con granos medianamente grandes de cuarzo.	206.73	13.74	15

Fuente. SVS Ingenieros (2016).



Conforme a la Tabla N°17, el factor de conversión varía entre 10 a 40, considerando que la roca encajonate varía entre 18 y 25, teniendo los resultados de factor de conversión y el índice de carga puntual, podemos adquirir histogramas de frecuencias que muestren la resistencia de compresión.

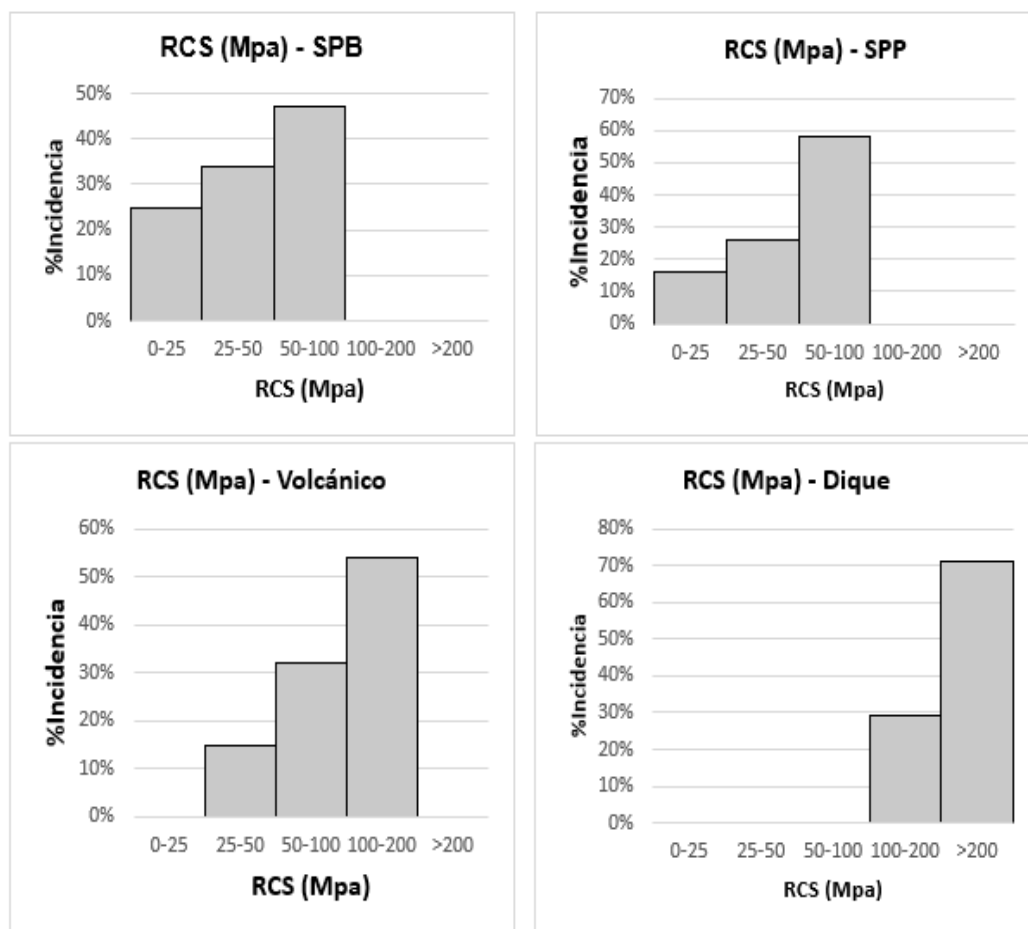


Figura 16. Estadística de la Compresión Simple en distintos dominios.

Fuente. SVS Ingenieros (2016).

En las zonas de cuerpo y cajas se pudo estimar que la resistencia de compresión es cambiante conforme a los dominios, en la tabla N° 18 se muestran las tendencias de variación.

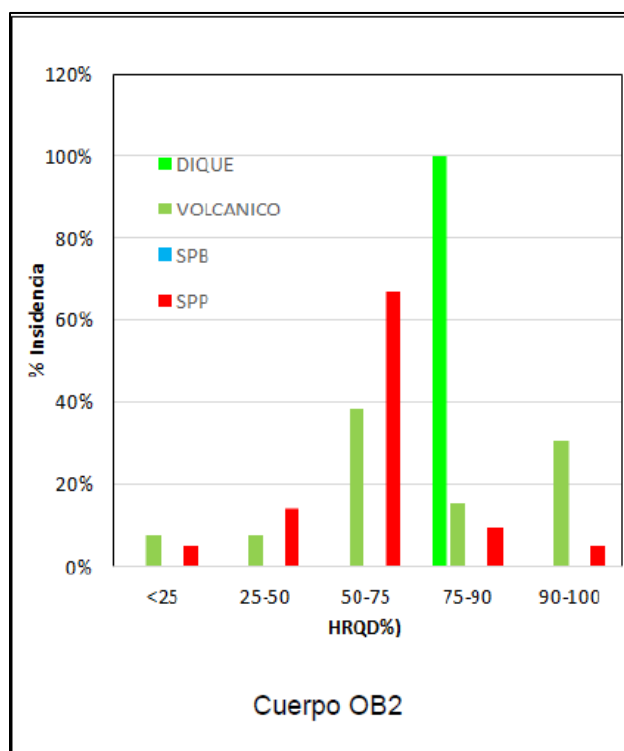
**Tabla 20.** Resistencia a la Compresión Simple de la Roca Intacta.

LITOLÓGÍA	CANTIDAD DE ENSAYOS	MÍN. DE RCS (MPa)	MÁX. DE RCS (MPa)	PROM. DE RCS (MPa)
SPP	19	19	104	59
SPB	18	21	84	44
ENCLAVE	4	23	111	54
VOLCÁNICO	38	39	180	116
DIQUE	6	142	212	192

Fuente. SVS Ingenieros (2016).

• Índice RQD

También conocido como Rock Quality Designation (RQD), estima el porcentaje de recuperación de la masa rocosa de testigos mayores o iguales a 10 cm de perforación diamantina. El estudio estadístico del RQD fue elaborado para la roca encajonante, cuerpo mineralizado y diques, teniendo como propósito estimar el fracturamiento según el dominio.



**Figura 17.** Conducta del RQD para el Ore Body 2B.

Fuente. SVS Ingenieros (2016).

El elevado valor de RQD no indica en todos los casos una buena calidad de roca, es por ello que, para Cerro Lindo se aplicó el parámetro de Handled RQD (HRQD) o RQD de manipuleo para las rocas SPP y SPB, las cuales revelaron índices de fracturamiento elevados ya que en los mapeos geomecánicos, se valúa elementos de formidable tamaño y en los logeos se cuenta con una recuperación máxima de 75 a 100%; pero al determinar el HRQD en remplazo del RQD se nota una variación entre el 25% a 75% para el cuerpo mineralizado (SPP y SPB), 50% y 90% para la roca encajonante (VOL) y entre el 50 y 100% para el dique, mostrados en el grafico anterior (Figura N° 17).

- Clasificación geomecánica

Para esta clasificación se empleó los sistemas de Clasificación RMR76 de Bieniawski, asimismo, Q de Barton, y como un criterio extra el Índice de Resistencia Geológica GSI.

- Sistema de Clasificación RMR<sub>76</sub>

Este sistema aplica seis parámetros de clasificación, la suma de ellos da como resultado el índice RMR, para casos mineros no es recomendable tomar la valorización por ajuste de orientación, puesto que, se considera número de Estabilidad (N°); para el método grafico de estabilidad, se consideraron los resultados de ensayos de mecánica de rocas, mapeos de los diferentes afloramientos y la examinación de testigos.

**Tabla 21.** Parámetros considerables en la clasificación del Sistema RMR<sub>76</sub>

Parámetros de Clasificación	Rango de valores
Resistencia Uniaxial de la roca intacta	0-15
Rock Quality Designation (RQD)	3-20
Espaciamiento de discontinuidades	5-30
Condición de las discontinuidades	0-25
Condiciones hidrogeológicas, agua subterránea	0-10
(*) Ajuste por orientación de discontinuidades	(-12)-0

Fuente. SVS Ingenieros (2016).

**Tabla 22.** Clases de Macizo Rocoso y sus Índices RMR

Índice RMR	Clase	Calidad del macizo rocoso
81 - 100	I	Roca muy buena
61 - 80	II	Roca buena
41 - 60	III	Roca regular
21 - 40	IV	Roca mala
< 20	V	Roca muy mala

Fuente. SVS Ingenieros (2016).

- Clasificación geomecánica del SPP

Considerando los cuerpos mineralizados OB2B y OB5, la resistencia de la roza intacta para los SPP oscila entre 20 a 90 MPa, al tener resistencia baja se determinó el HRQD el cual varía entre 20 a 60%, las discontinuidades tienen espaciados entre 5 a 30 cm, teniendo superficies blandas, medianamente rugosas (separación < 1mm), y el RMR varía entre 32 a 52 considerándose roca regular.



*Figura 18.* SPP de grano grueso a medio en el Nv 1680 CX18. / SPP de grano grueso a medio, CL13-1740-07 (57.18-62.35)

Fuente. SVS Ingenieros (2016).

- Clasificación geomecánica del SPB

Para el SPP la resistencia varía entre 20 a 90 MPa, al ser baja se determina HRQD varían entre 30 a 70%, los espaciamientos son de 5 a 30 cm.

Las discontinuidades son suaves, mientras que las superficies son rugosas en grado medio, y tienen apartamientos menores a 1mm, consiguiendo como resultado un RMR varía entre 35 a 55.



*Figura 19.* SPB de grano grueso a medio, CL13-1740-16 (47.14 - 51.04)/SPB de grano medio, CL10-501-07 (170.70-174.90).

Fuente. SVS Ingenieros (2016).

- Clasificación Geomecánico del Volcánico cercano

Según SVS Ingenieros el sondaje CL13-1740-09, precisa que la roca caja colindante al mineral se halla quebrantada y constantemente vinculado con fallas, se estima una resistencia de 50 a 100 MPa el índice RQD varía entre 40 a 60% por lo que se obtiene un RMR que varía entre 30 a 45.



*Figura 20.* Volcánico fracturado - Contacto caja techo volcánico – Mineral

Fuente. SVS Ingenieros (2016).

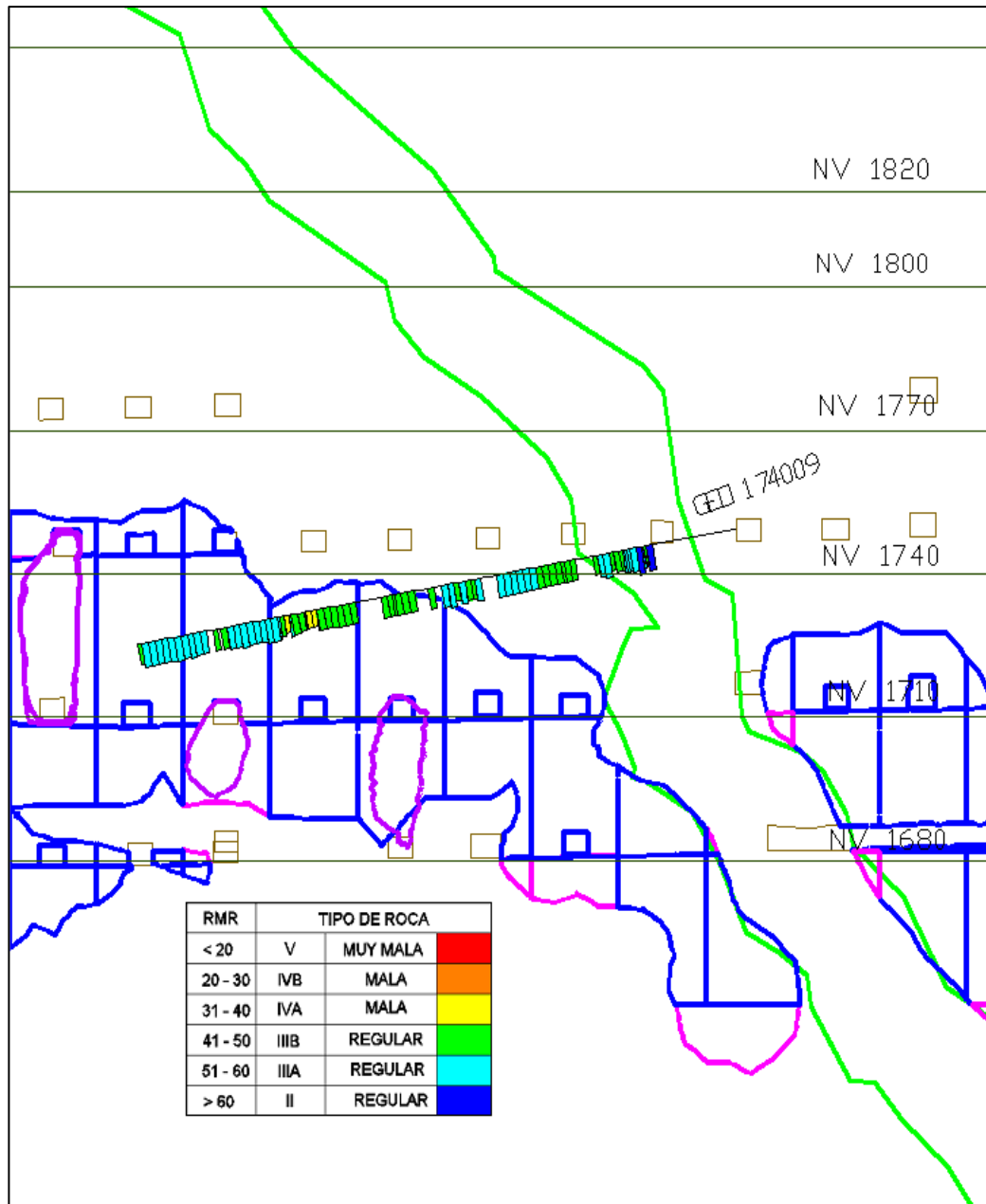


Figura 21. Plano de estudio geomecánico RMR litología volcánico.

Fuente. SVS Ingenieros (2016).

Por otra parte, el sondaje CL13 GEO1740 -16, establece que la roca caja colindante al mineral es de tipo volcánico con minerales diseminados considerada una zona de transformación de cambio litológico, se determina una resistencia entre los 50 a 100 MPa, el RQD varía 75 a 90%, y esto da como resultado que el RMR de la roca varía entre 50 a 55%.



Figura 22. Caja techo cercana – Transición volcánico – SPP

Fuente. SVS Ingenieros (2016).

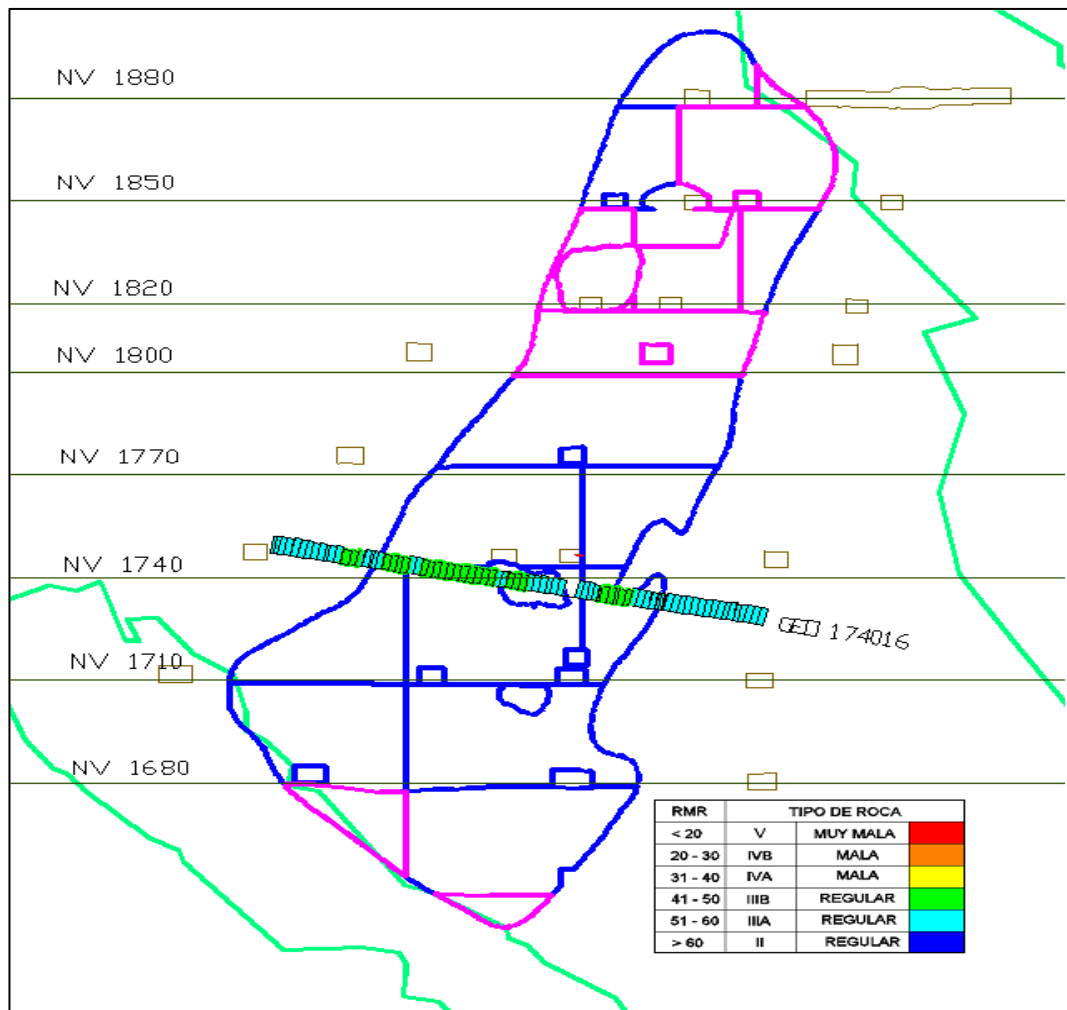


Figura 23. Plano de isovalores RMR transición volcánico-SPP U.M. Cerro Lindo.

Fuente. SVS Ingenieros (2016).

- Clasificación Geomecánica del Dique

Conforme a los estudios geomecánicos desarrollados en las labores subterráneas y relevo de testigos la resistencia a la compresión simple de la roca intacta es superior a los 200 MPa, con RQD varía entre 40 a 80%, debido a que presentan zonas de fracturamiento altos asociados a fallas.



*Figura 24.* CL10-507 (115.08 – 117.93)

Fuente. SVS Ingenieros (2016).



*Figura 25.* CL10-501 (110.26 – 114.30)

Fuente. SVS Ingenieros (2016).



*Figura 26.* CL10-501 (118.14 – 122.30)

Fuente. SVS Ingenieros (2016).



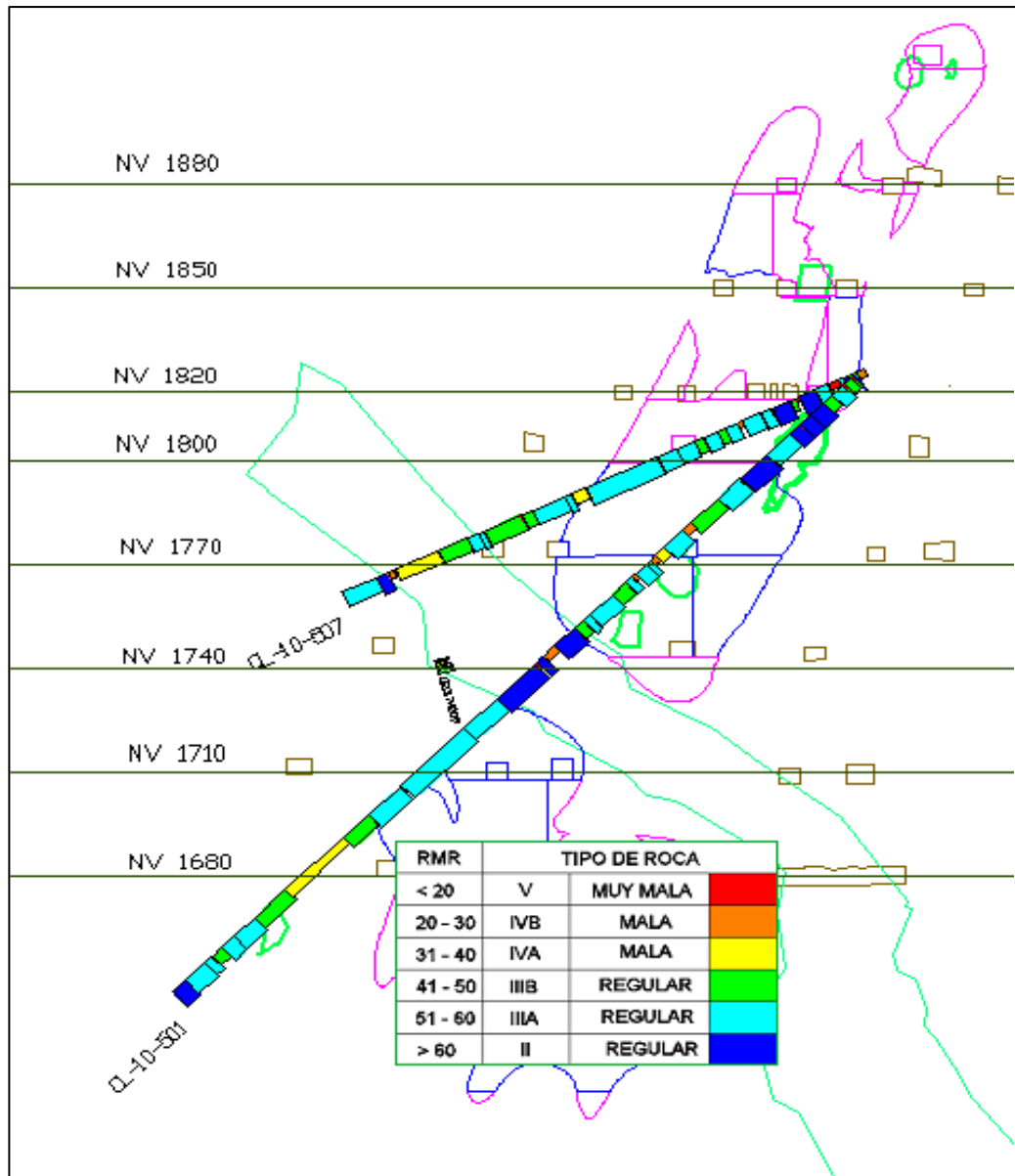


Figura 27. Plano de isovalores de RMR en planta.

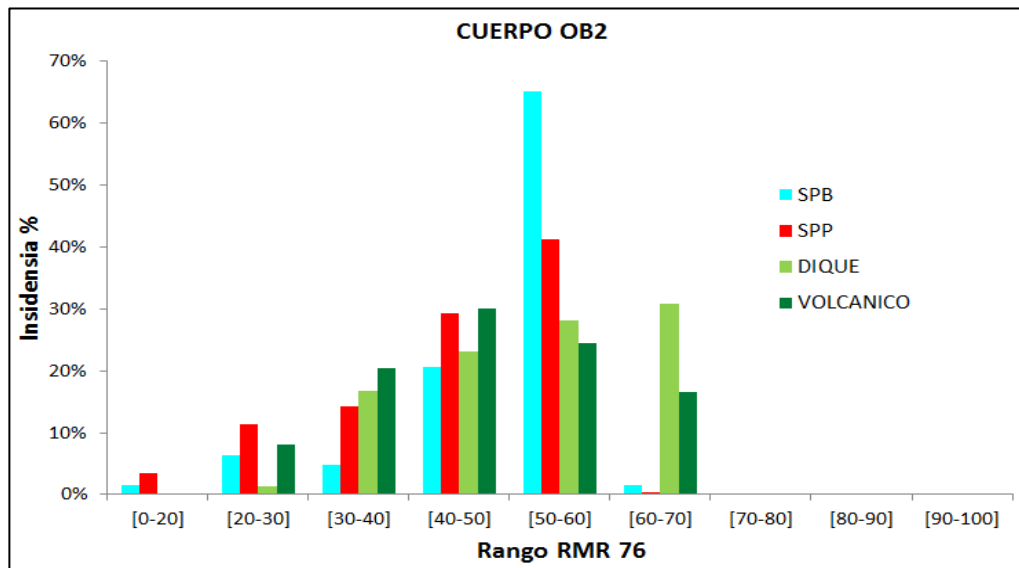
Fuente. SVS Ingenieros (2016).

Al obtener los datos de RMR, permitió realizar planos de isovalores RMR en planta de cada nivel, con ello se logró notar la diferenciación de resultados en cuanto al RMR en todo el cuerpo mineralizado. Los consecutivos planos longitudinales confirman que la roca sobresaliente para el cuerpo mineralizado es de tipo III (RMR 40 – 60); para la roca caja colindante es del tipo III (RMR 40 – 60), con una predisposición a optimar en la parte de la roca encajonante distante (RMR 50 – 60) y para el dique la roca sobresaliente es del tipo (RMR 60 - 80).

**Tabla 23.** Variabilidad de la Clasificación Geomecánica RMR en el cuerpo OB2B

Dominio Litológico	OB2B		
	RMR min	RMR máx.	RMR 76 Prom
SPP/SPB	15	61	50
VOL CERCANO	17	55	46
VOL LEJANO	35	70	54
DIQUE	17	69	55

Fuente. SVS Ingenieros (2016).



**Figura 28.** Análisis Estadístico de los Valores de RMR para el OB2 respectivamente.

Fuente. SVS Ingenieros (2016).

### **4.3 METODO DE MINADO CERRO LINDO**

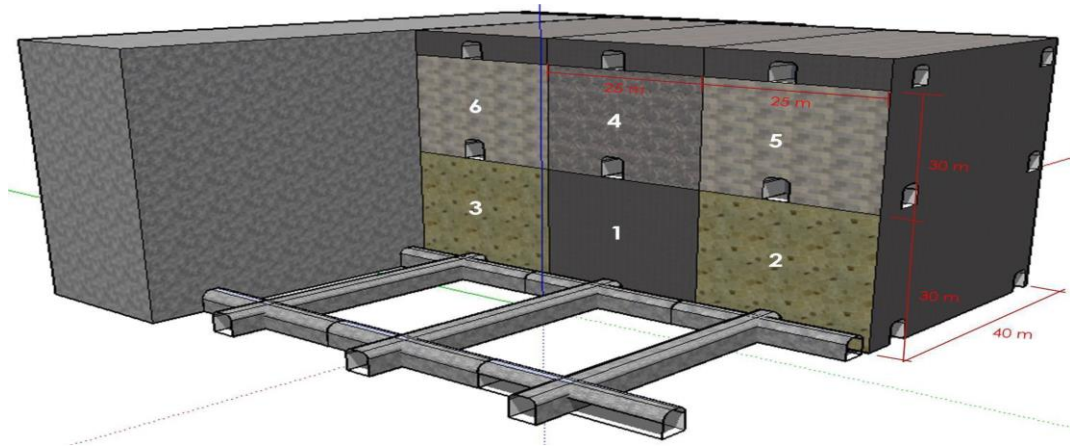
#### **a. Operaciones Mina**

Las operaciones en la unidad minera cerro lindo son a gran escala ya que es la mina subterránea polimetálica más grande del Perú, se extrae diariamente 21,000 t/d, de los cuales se obtiene un total de concentrado de 380 ton métricas, cuyo proceso de producción es mecanizado, acarreado el mineral a superficie mediante dos métodos, a través de volquetes y Fajas que van directamente a planta concentradora de minerales, cuyas dimensiones son de 5m x 4m, cabe resaltar que no utiliza agua de la zona de influencia ya que trata el agua del mar en su propia planta desaladora a través del proceso de Osmosis Inversa.

#### **b. Minado por sub level stoping**

Cerro Lindo consta de un yacimiento sulfuro masivo Vulcano génico, con mineralización de zinc, cobre y plomo, según los estudios geomecánicos aplicados el método óptimo para extraer el mineral es el sub level stoping o también conocido como hundimiento de niveles, se desarrolla cuando el mineral es competente y tiene un ángulo de buzamiento mayor a 60°, se aplica en yacimientos verticales. Conforme al área de operaciones mina los sub niveles son cada 30 m y los cuerpos se fraccionan en tajos de 30 metros de alto, 20 m de ancho y 40 m de largo (18000m<sup>3</sup> y 81000 TM).

La secuencia inicia explotando bloques primarios para luego colocar "Relleno en pasta", una vez se logra la resistencia adecuada se procede a minar el nivel superior primario y se rellena con la resistencia adecuada nuevamente e inicia el minado de los bloques secundarios inferiores, para que dichos pilares se mantengan estables se requiere hacer un buen diseño, perforación y voladura.



**Figura 29.** División de bloques

Fuente. Planeamiento Cerro Lindo.

Los indicadores que consienten aplicar el método, son los siguientes:

**Tabla 24.** *Parámetros Geomecánicos*

PARÁMETROS	GENERALES	CERRO LINDO
BUZAMIENTO	> 60°	65° a 70°
RMR - MINERAL	60	50-60
RQD - MINERAL	60	55-62
RMR - CAJA PISO	75	60-70
RMR - CAJA TECHO	50	40-50

Fuente. SVS Ingenieros (2016).

Este método es ideal puesto que es económico, de alta productividad, alta seguridad y buena ventilación, pero al realizar el método habrá grandes cavidades vacías las cuales tendrán que ser rellenadas.

- Desarrollo y preparación

Se desarrollan rampas de aproximadamente 5 m x 4 m de sección de tal manera que sea paralela al eje del cuerpo mineralizado, a partir de la rampa se desarrollan los subniveles cada 30 metros con 2% de pendiente positiva, las cuales son paralelas al eje horizontal ubicándose en la caja piso.

Considerando los subniveles y conforme al diseño se inicia el desarrollo de cruces que permitirán acceder al cuerpo mineralizado, hasta lograr intersectar la caja techo. A partir de los cruces se realizan galerías de

secciones de 4 m x 4.00 m aproximadamente, hasta lograr comunicar a todos los cruceros de preparación.

En la zona central de la galería inician los cruceros que aproximadamente tienen 20 metros de longitud por 4m por 4m de sección, la cual permitirá la realización de chimeneas slot para los tajos, cada metro disparado es sostenido mediante pernos helicoidales de 7 pies con una malla de 1.20 m x 1.20 m, en conjunto a ello se aplica malla electro soldada o shotcrete.

Los Equipos empleados para la realización de labores de desarrollo y preparación son los siguientes:

**Tabla 25. Equipos de perforación.**

<b>PERFORACIÓN</b>			
JUMBOS	BARRA (MT)	DIÁMETRO DE BROCA (MM)	AVANCE POR DISPARO (MT)
ROCKET BOOMER 281	4.26	45	3.8
ROCKET BOOMER 282	4.26	45	2.8

Fuente. Área de Operaciones U.M. Cerro Lindo.

**Tabla 26. Equipos para sostenimiento y limpieza.**

<b>SOSTENIMIENTO</b>			
JUMBOS	PERFORADORA	BARRA (MT)	DIÁMETRO BROCA (MM)
ROCKET BOOMER 281	COP 1836	2.14	37
<b>LIMPIEZA</b>			
SCOOPS	CAPACIDAD (M3)	(TM/HR)	\$/HR
CAT-R1600G	4.8	90	88.87
CAT-R2900G	7.2	150	118.25

Fuente. Área de Operaciones U.M. Cerro Lindo.

El transporte de mineral o desmonte se realiza empleando volquetes Mercedes Benz modelos Actros 4143K 8 x 4 de 40 TM y Mercedes Benz 3335K 6 x 4 de 26 TM.

#### 4.4 CONSTRUCCIÓN DE CHIMENEAS SLOT CON VCR

##### a. Construcción de chimenea de cara libre

Esta construcción de chimeneas de cara libre se fundamenta en la teoría de los cráteres la cual consiste, en producir el arranque del material mediante cargas esféricas. Las cuales se ubican en taladros verticales o inclinados a una distancia aceptable de la cara libre.

Primero se tiene que determinar el rumbo e inclinación de los taladros los cuales tendrán un diámetro de 89 mm y se procede a perforar toda la longitud requerida de la chimenea a ejecutar, esto se repite hasta completar la malla la cual casi siempre está entre 4" y 6 ½". de perforación, luego se procede a la voladura por tramos desde el nivel inferior hasta el nivel superior.

Las chimeneas de cara libre se realizan usando la perforadora simba la cual cuenta con el sistema Down The Hole (DTH) y emplea como accesorios un tubo tack que ayuda a minimizar desviaciones, barras de 5 pies (MF T38), una rosca T45, broca de botones T45 de 89 mm, shank T45 para COP 1838, en esta investigación se tomó como muestra el siguiente proyecto realizado en el NV.1880 TJ 179 OB2B, el cual presenta una longitud de 27.30 metros y una sección de 1.80 m x 1.80 m.

Para la realización de perforaciones es necesario considerar una serie de parámetros para que el trabajo se ejecute de manera favorable.

**Tabla 27.** *Parámetros de la perforación considerados en UM Cerro Lindo.*

<b>SECCION m<sup>2</sup></b>	<b>3.24(1.8m x 1.8m)</b>
Longitud de Perforación ( m)	27.3
Metros perforados	409.5
Inclinación	90°
Cantidad de taladros	15
Taladros cargados	11
Taladros Vacíos	4
Diámetro taladro (mm)	89

Fuente. Área de Operaciones U.M. Cerro Lindo.

La voladura se realiza en tramos, con un avance por disparo de 4 metros por disparo, para ello se emplean accesorios y explosivos los cuales son:

**Tabla 28.** Explosivos y accesorios empleados para la construcción de chimeneas VCR.

ACCESORIOS Y EXPLOSIVOS	CANTIDAD
ANFO (kg)	114.4
Booster HDP3 (unid)	11
Fulminante no eléctrico 30 m (unid)	11
Cordón detonante SP( m)	3
Fulminante común ( unid)	2
Conector (unid)	2
Mecha lenta (m)	4.26
Mecha rápida (m)	0.2
Avance(m)	4
TMR /1.8*1.8*4*2.85)	36.94
Factor potencia	3.1

Fuente. Área de Operaciones U.M. Cerro Lindo.

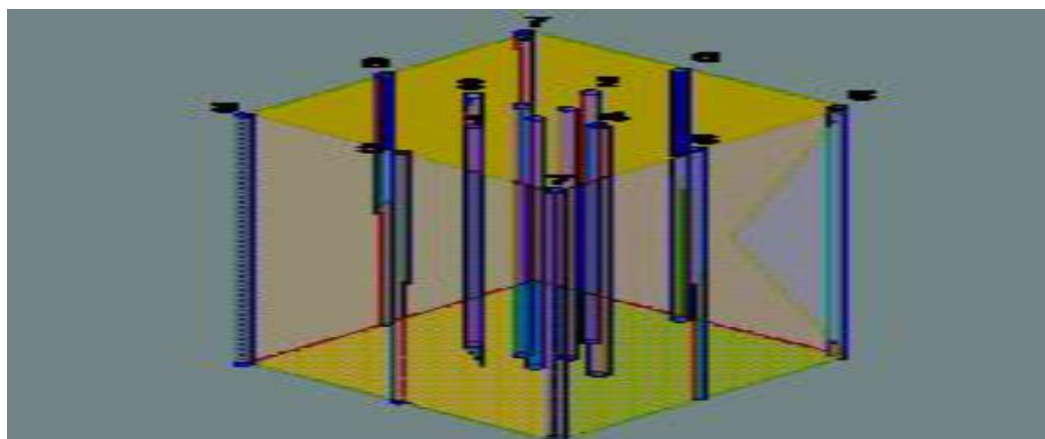
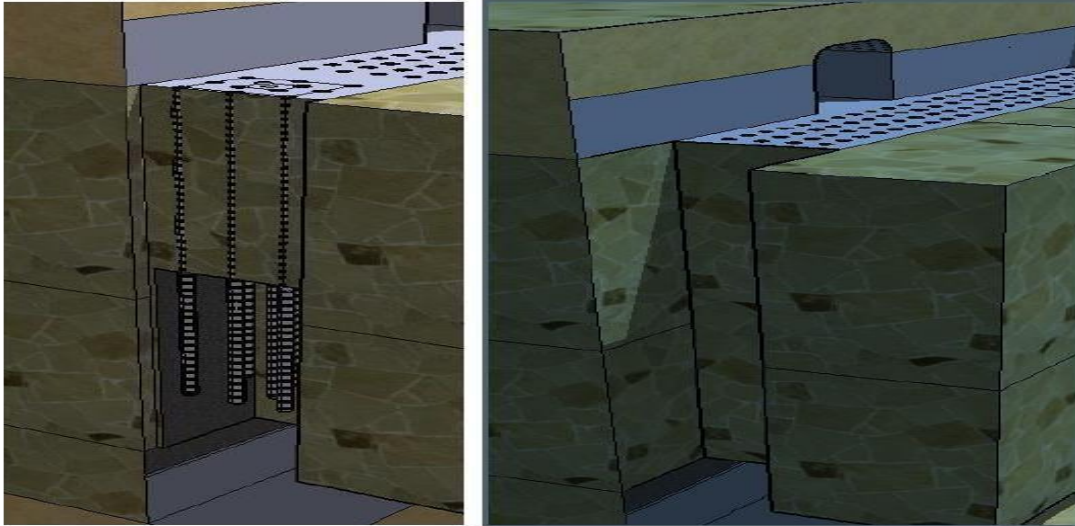


Figura 30. Esquema de perforación para chimeneas VCR.

Fuente. Área de Operaciones U.M. Cerro Lindo.



*Figura 31. Voladura chimeneas VCR.*

Fuente. Área de Operaciones U.M. Cerro Lindo.

#### b. Ejecución del slot del tajo

Para desarrollarlo se tiene que ejecutar la voladura de un bloque de material de nivel a nivel, teniendo como longitudes 27m x 20m x 2,5m y un volumen de 1,350 m<sup>3</sup> (3,863 Toneladas métricas rotas), las perforaciones de los taladros se realizan con la perforadora Simba de modelo H – 1254 o también la perforadora RAPTOR DH, comenzando la perforación positiva.



*Figura 32. Simba H-1254.*

Fuente. Área de Operaciones U.M. Cerro Lindo.



**Tabla 29.** Accesorios según equipo de perforación a emplear.

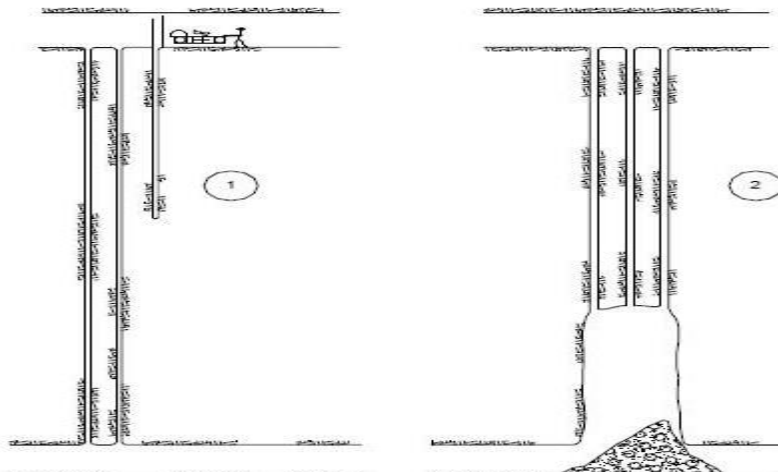
ACCESORIOS	SIMBA H-1254	RAPTOR DH
Perforadora	COP 1838	COP 1838
Shank	COP T38 1550	COP T38 1440
Barras	cxtcn6' MFT38	cxtcn5' MFT38
Brocas	T38 76 mm y 64 mm	T38 76 mm y 64 mm
Rendimiento (mt/hr)	30	25

Fuente. Área de Operaciones U.M. Cerro Lindo.

### C. Detonación del slot para tajeo.

Esta se realiza por hileras empezando desde la parte superior y después la inferior, considerando iniciar desde la chimenea slot, por otra parte, el retiro del material volado se realiza conforme vaya desarrollándose la voladura de tal manera de tener un área independiente para seguir disparando. Al concluir la voladura de toda la zanja (slot), se realiza la limpieza del material tronado para tener la cara libre y comenzar con las mallas radiales.

### Esquema 4 Voladura de chimenea VCR



Fuente. Área de Operaciones U.M. Cerro Lindo.

Desde un principio, la operación minera Cerro Lindo opto por este método para elaborar chimeneas Slot, pero surgieron problemas en cuanto avance, tiempos y producción al no ser lo suficiente en esta empresa de gran envergadura.

Tabla 30. Costos unitarios de construcción de chimenea VCR.

SECCION DE CHIMENEA: 1.80 x 1.80, LONGITUD DE PERFORACION: 27.30 m							
Metros perforados = 15 taladros x 27.30 metros = 409.50 m							
Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario (US\$)	Vida util (m)	Costo total (US\$)	Costo por metro (US\$/m)	
<b>Mano de Obra</b>							
Perforista	Turno	1	20	0.38	7.50	0.27	
Ayudante de perforista	Turno	1	15	0.75	11.25	0.41	
Explosivista	Turno	1	20	1.00	20.00	0.73	
Ayudante de explosivista	Turno	1	15	1.00	15.00	0.55	
SSOMA	Turno	1	20	0.38	7.50	0.27	
<b>Sub total</b>					<b>61.25</b>	<b>2.24</b>	
<b>Accesorios de perforación</b>							
Barra	c/u	0.20	246.68	2,000	50.51	1.85	
Bit	c/u	0.59	442.04	700	258.59	9.47	
Adaptador	c/u	0.27	318.80	1,500	87.03	3.19	
Martillo	c/u	0.01	2,375.00	40,000	24.31	0.89	
<b>Sub total</b>					<b>420.45</b>	<b>15.40</b>	
<b>Equipo de perforación</b>							
Perforadora	h	17.06	286.64	1	4,890.80	179.15	
Combustible	Gal	25.59	2.79	1	71.41	2.62	
<b>Explosivos</b>							
ANFO	kg	800.80	1.80	1	1,441.44	52.80	
Booster	c/u	77.00	0.20	1	15.40	0.56	
Fulminante no eléctrico	c/u	77.00	1.42	1	109.34	4.01	
Cordón detonante	Metros	1,890.00	0.18	1	340.20	12.46	
Guía de seguridad	Pies	49.00	0.10	1	4.90	0.18	
<b>Sub total</b>					<b>1,911.28</b>	<b>70.01</b>	
<b>Implementos de seguridad</b>					<b>Sub total</b>	<b>897.50</b>	<b>32.88</b>
<b>Herramientas general</b>					<b>Sub total</b>	<b>500.00</b>	<b>18.32</b>
<b>Aire comprimido</b>							
Aire comprimido	Consumo (pie <sup>3</sup> /h)	Tiempo hrs	Costo (US\$/pie <sup>3</sup> )	Costo total (US\$)	Costo (US\$/m)		
Ventilación	20,000	1	0.00075	15.00	0.55		
<b>Sub total</b>					<b>15.00</b>	<b>0.55</b>	
Mantenimiento programado/mes				2,445.40	89.58		
Servicios auxiliares				720.00	26.37		
Costo fijo de supervision				35.00	1.28		
Movilidad + alojamiento				1,025.00	37.55		
Gastos Grales + Admin				882.62	32.33		
Utilidades				847.00	31.03		
Contingencias (7.5%)				1,104.20	40.45		
<b>Gran Total</b>				<b>15,826.90</b>	<b>579.74</b>		

Fuente. Reporte de productividad cerro lindo

**Tabla 31.** Distribución de tiempos en construcción de chimenea Slot con VCR.

<b>DIA COMPLETO (guardias A y B)</b>		
Charla y reparto de guardia	01:00:00	Horas
Llenado de herramientas de Gestion	00:30:00	Horas
Traslado de equipos y Accesorios	03:00:00	Horas
Acondicionamiento lugar	02:00:00	Horas
Perforación y voladura	08:00:00	Horas
Ventilación	03:00:00	Horas
Refrigerio	02:00:00	Horas
Limpieza	04:00:00	Horas
Mantenimiento de equipos	00:30:00	Horas
<b>Suma Total</b>	<b>24:00:00</b>	<b>Horas</b>

Fuente. Elaboración Propia

Los tiempos de trabajo en chimenea slot son:

Avance por guardia (m): 4 metros.

Avance por día (m): 8 metros.

**Tabla 32.** Días en construcción de chimenea Slot de 27.30 m, con VCR.

<b>METODO VCR</b>					
<b>DIA</b>	<b>1°</b>	<b>2°</b>	<b>3°</b>	<b>4°</b>	<b>5°</b>
<b>Guardia A</b>	Perforacion	4	4	4	3.3
<b>Guardia B</b>	Perforacion	4	4	4	-
<b>Horas</b>	24:00:00	24:00:00	24:00:00	24:00:00	12:00:00
<b>Total (h)</b>					<b>108:00:00</b>

Fuente. Elaboración Propia

#### **4.5. PROPUESTA DE CONSTRUCCIÓN DE CHIMENEAS SLOT CON MÉTODO RAISE BORING**

##### **a. Construcción de chimenea slot Raise Boring**

Para el desarrollo óptimo y mejora del proceso de minado en cuestión de costos, tiempos y seguridad salud ocupacional y medio ambiente, se propone construir las chimeneas slot reemplazando el método VCR por el método Raise Boring, puesto que es un método mecanizado, que trabaja de manera favorable cuando las condiciones del lugar son estables, y básicamente requiere perforar usando un trícono (taladro piloto) hasta alcanzar el nivel requerido para adaptarle un escariador con el propósito de ensanchar la perforación piloto conforme al diámetro requerido, siendo económicamente rentable y factible según las condiciones del macizo rocoso.

##### **b. Traslado de máquina**

Para realizar el traslado de la máquina perforadora SMB 400 SR se considera una serie de parámetros que son los siguientes:

- Eliminar los obstáculos y bloques de piedra de la vía.
- No manejar, ni operar la máquina SBM 400 SR si no tiene una preparación adecuada y/o no se encuentra autorizado.
- Confirmar que la pendiente por donde va recorrer el equipo no supere los 15 grados de un tramo de 5 metros.
- Asegurarse que las 02 baterías de 12VDC y la batería de control remoto de la oruga estén cargadas.
- Considerar que la velocidad máxima del equipo es de 3 Km/h y puede girar 360 grados.
- Para el traslado de la máquina SBM 400 SR se debe de escoltar con la camioneta. Asegurarse que la máquina esta retraída e inclinada sobre la oruga hasta los 35 grados según el nivel, utilizando los cilindros respectivos.

- Para el traslado de la máquina SBM 400SR se deberá de escoltar con la camioneta.
- La oruga nunca debe de transportarse con la maquina inclinada hacia adelante en superficies planas, en inclinadas se realizará según el esquema adjunto.

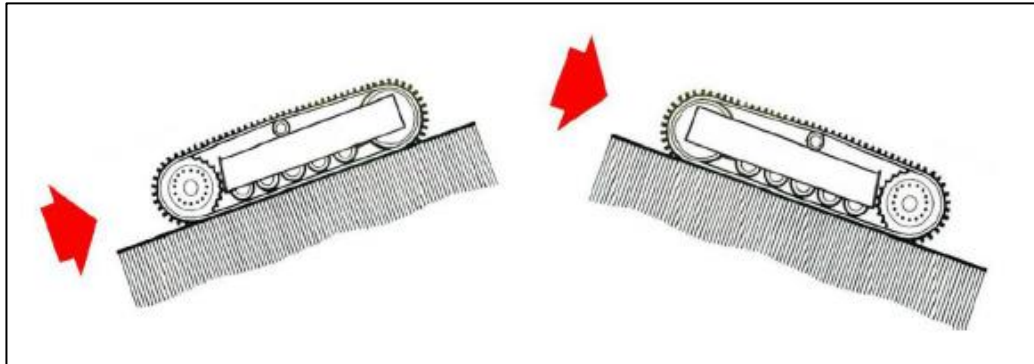


Figura 33. Representación del transporte a orugas.

Fuente. Empresa Tumi Raise Boring 2019.

- Mantenerse a un radio de 3mts. Con respecto al giro de la oruga con excepción del operador.
- Nunca realizar maniobras de traslado de maquina RB y componentes si no se encuentran bien asegurados.
- Reportar cualquier incidente ocurrido durante la actividad al supervisor inmediato.
- Usar equipos de protección personal (EPP'S) adecuados.
- Es necesario controlar y minimizar riesgos que puedan afectar a la salud, seguridad y ambiente por la exposición de equipos raise boring durante su instalación.

Antes de dar por iniciada cualquier tarea será necesario que los trabajadores estén preparados y capacitados sobre los peligros a los que se exponen y contar con la protección personal obligatoriamente considerando medidas de seguridad como una buena ventilación, protección respiratoria, protección auditiva, primeros auxilios y procedimiento de emergencia.

### **c. Instalación de máquina**

Es necesario controlar y minimizar riesgos que puedan afectar a la salud, seguridad y ambiente por la exposición de equipos raise boring durante su instalación.

Primero es necesario coordinar con anticipación los repartos de guardia y que las condiciones de trabajo en la cámara de perforación cumplan con los requerimientos para iniciar con los trabajos de instalación de la máquina SBM-400-SR, el supervisor tiene que verificar que las condiciones sean las apropiadas. Para la instalación es necesaria la participación del supervisor, el operador, el asistente y el conductor de la camioneta.

Los materiales y herramientas que emplear serán un juego de barretillas para el desate de rocas, un juego de llaves mixtas, llaves francesas 14" 16" y llave stilson 16", 1 pico, 1 pala minera, cintillos de seguridad para estandarización de cámara.

El operador trasladará la máquina SBM-400-SR haciendo uso de control remoto hasta el punto de empate (eje) ubicado y marcado por topografía y verificado según los planos. Una vez ubicado el equipo en el eje de perforación se procede a nivelar la máquina utilizando los pistones de anclaje verificando los niveles digitales incorporados a la máquina.

Será necesario considerar la presión máxima de los cilindros de fijación que es de 1,500 PSI (10.3 MPa). Después de la nivelación de la máquina se procederá a dar el ángulo de perforación respectivo con la ayuda de los actuadores hidráulicos y verificando los niveles digitales instalados en los guidores, para luego activar los anclajes superiores hasta dar la inclinación final.

Se conecta los chupones de los cables de energía de la máquina al tablero de llegada verificando que la llave del breacker se encuentre en posición off (des

energizado). Una vez conectados los chupones, se activa la llave del breacker en posición y energizando la máquina, se verificarán los visores correspondientes y se verifica que los rangos de energía sean los solicitados.

Se realizarán las pruebas de funcionamiento de la máquina, así como de todos los componentes debiendo quedar operativos y se procede a instalar la bomba de agua y accesorios hasta el wáter swivel. Se procede a la estandarización de la cámara y se realiza el orden y limpieza de labor retirando todo objeto o material que no se utilizará en esta actividad.

#### **d. Dimensiones de la Maquina Raise Boring**

La SBM 400 SR, ya que un equipo de bajo perfil, las dimensiones que ocupa en el frente de trabajo le permite adaptarse a cámaras aún más pequeñas que los estándares.

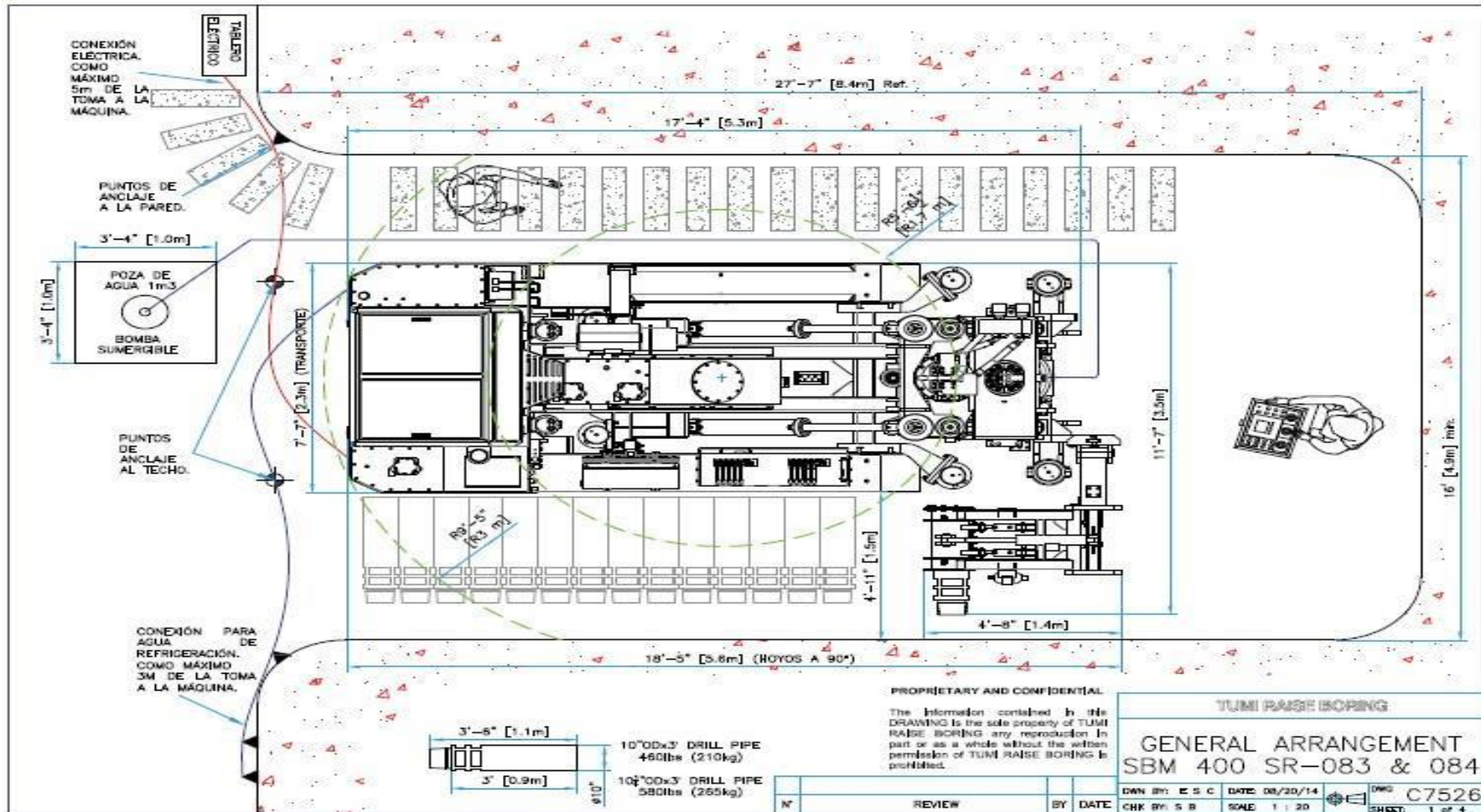


Figura 34. Estándar de cámara adjunto – plano vista en planta.

Fuente. Empresa Tumi Raise Boring 2019.



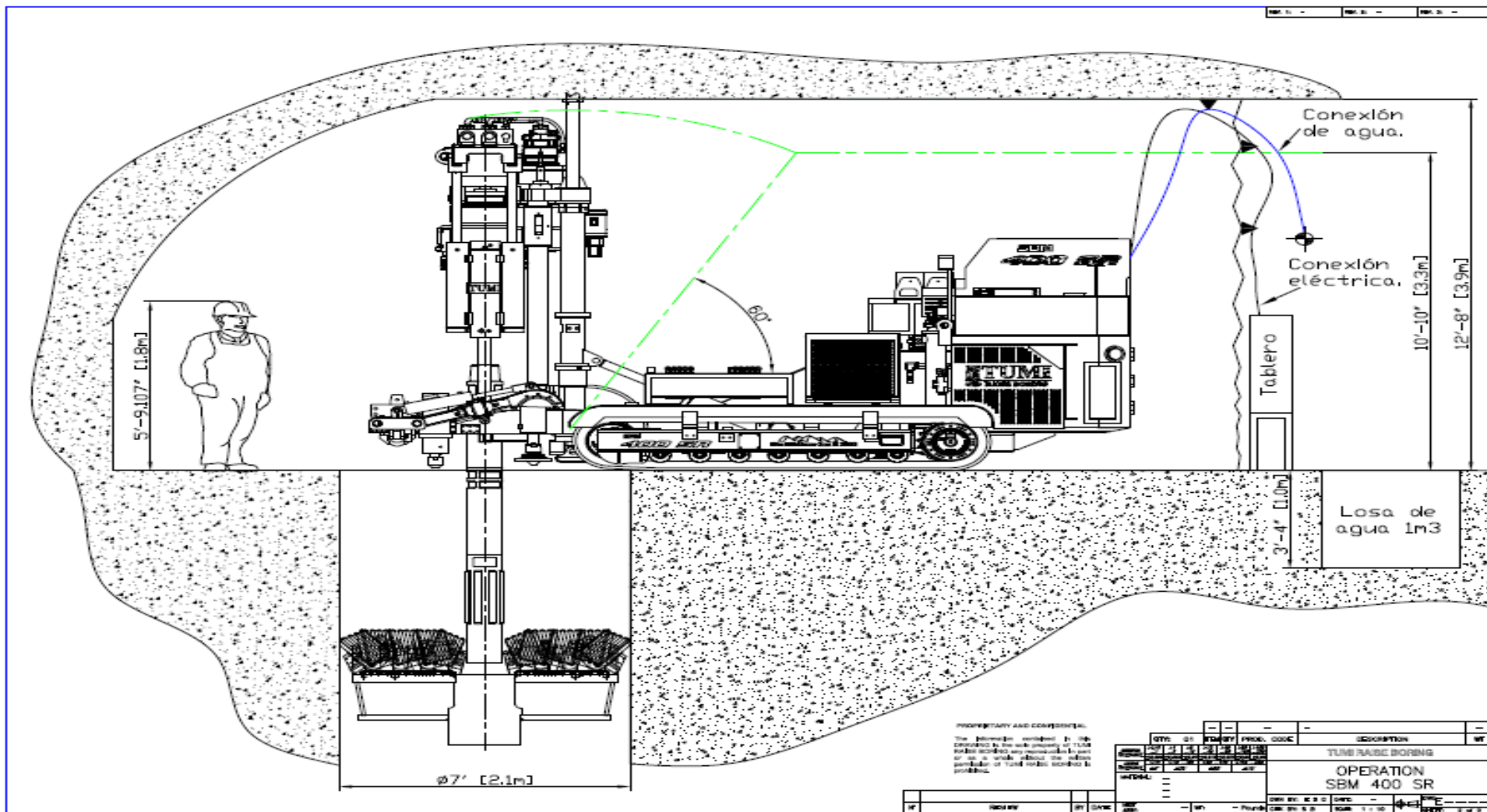


Figura 35. Estándar de cámara adjunto – plano vista en planta.

Fuente. Empresa Tumi Raise Boring 2019.

#### **e. Traslado de barras de perforación**

No se manipula, ni se trabaja con las barras de perforación si no se tiene una capacitación adecuada.

Se manipulan las barras de perforación usando 2 barretillas de acero de 4 pies para realizar la acción de palanca para que las barras de perforación puedan rodar sin dificultad. El traslado de barras se realizará con el apoyo de equipo Scoop, teniendo que guiar desde un punto que se tenga una visibilidad del operador.

Se posiciona la cuchara del scoop en dirección de la cama de las barras y se hace rodar las barras sobre dos tablones de madera entre dos personas coordinadamente, con la ayuda de las barretillas este paso se frecuenta según sea necesario hasta cargar la última barra.

Para el traslado hacia la próxima cámara se tendrá que escoltar con la camioneta y emplear cuñas de madera de 2" x 2" para inmovilizar las barras de perforación.

**Tabla 33.** *Tuberías de perforación.*

<b>TUBERIA DE PERFORACION</b>	<b>MEDIDA</b>	<b>PESO</b>
Tuberías de Perforación Ø 10"x 3'	254 mm x 0.91 m	400 Kg

Fuente: Empresa Tumi Raise Boring 2019.

#### **f. Limpieza de material rimado RB**

El operador y ayudantes del raise boring deben conocer los peligros y riesgos que implican el ejecutar la perforación rimado de chimenea RB, sobre todo el conocer el alto potencial de riesgo de tener la columna de chimenea con carga y/o agua atorada.

El operador y ayudantes RB deberán conocer el punto exacto del pie RB, y deberán verificar el pie RB para decidir continuar con la perforación rimado y

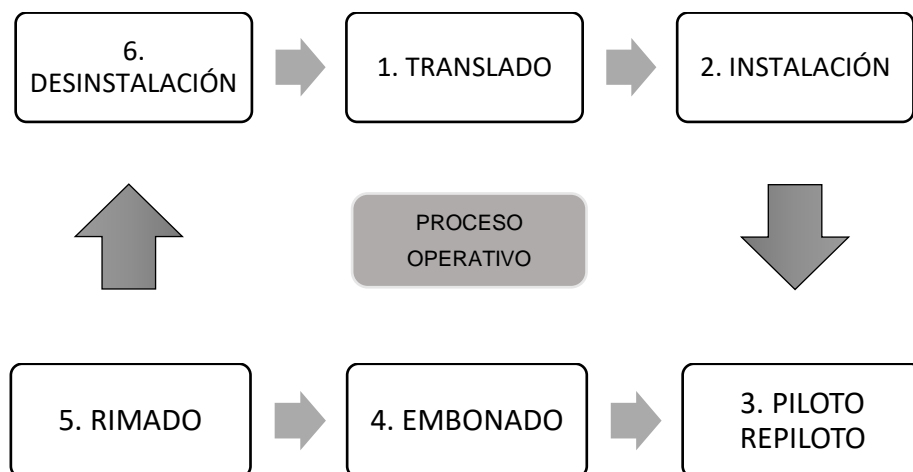
en caso encuentren el Pie RB con material rimado que este con menos de 1m de luz de carga con el borde inferior de la chimenea, deberán detener el rimado y comunicar al supervisor RB y este a su vez comunicará al área de mina para que realicen la limpieza.

El operador y ayudantes RB retirarán el bloqueo y cortina en el pie RB, solo para realizar la limpieza de material rimado, eligiendo el acceso más adecuado (sostenido y desatado) hasta el punto de limpieza (chimenea).

Se verificará que se haya realizado la limpieza de carga de material rimado, en caso se encuentre el equipo de limpieza (scooptram) en movimiento, se ubicarán en un lugar seguro y refugiados, si desean ingresar al pie RB mantendrán comunicación efectiva por radio, el equipo (scooptram) deberá estar detenido para ingresar, evitar ingresar a la ruta de acarreo del scooptram sin autorización del operador.

Después de asegurarse que se haya limpiado correctamente el pie RB, colocarán y bloquearán el pie RB, para continuar con la perforación rimado.

*Esquema 4.* Fases del proceso de construcción Raise Boring.



Fuente. Empresa Tumi Raise Boring 2019.

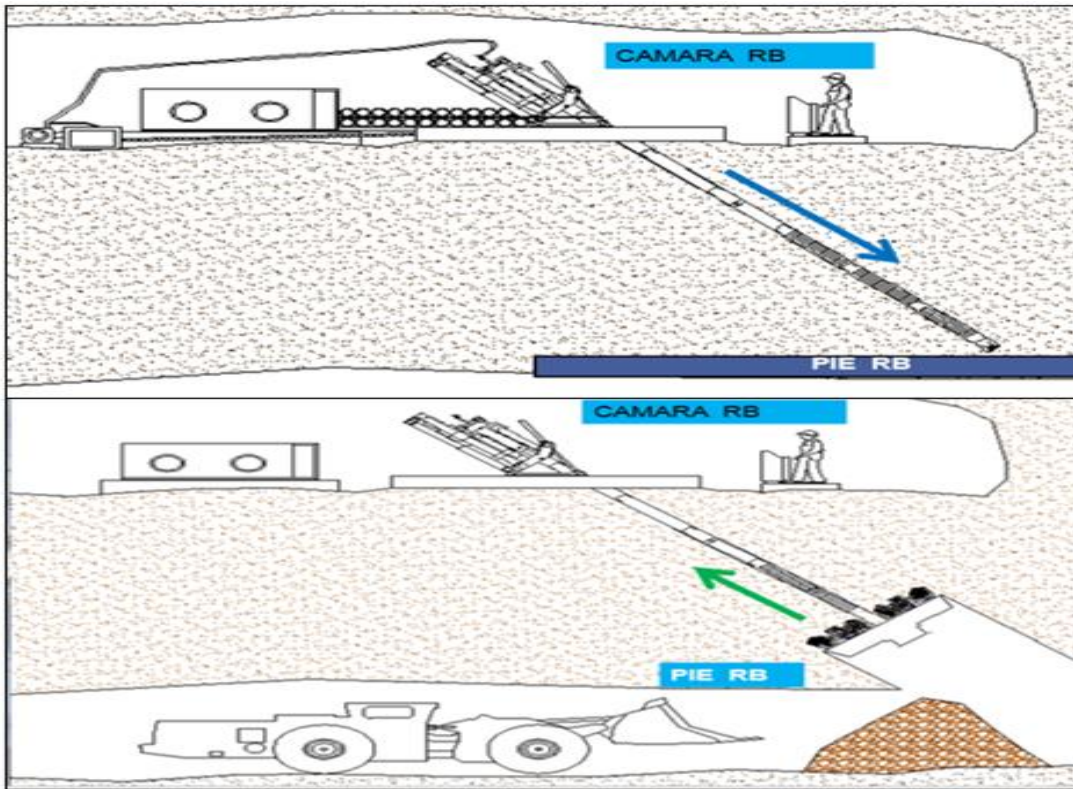
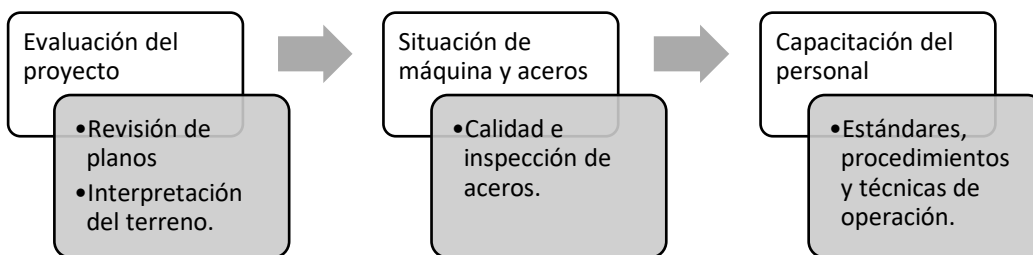


Figura 36. Perforación piloto – perforación rimado.

Fuente. Empresa Tumi Raise Boring 2019.

**g. Parámetros a considerar para aplicar método raise boring.**

Esquema 6. Fases del proceso de construcción Raise Boring.



Fuente. Empresa Tumi Raise Boring 2019.

## h. Especificaciones de la maquina Raise Boring

<b>SBM 400 SR</b>			
<b>CAPACIDADES</b>			
<b>Capacidad*</b>	<b>Longitud</b>	330 pies / 100 m	800 pies / 250 m
	<b>Diámetro</b>	4 pies / 1.2 m	7 pies / 2.1 m
<b>Potencia Total Instalada</b>			200 hp / 150 kW
<b>Empuje de Escariado**</b>			384,000 lbf / 1,700 kN
<b>Torque Máximo</b>			60,000 lbf-pie / 81 kN-m
<b>Ajuste del Ángulo de Perforación</b>			36° - 90°
<b>PESOS Y DIMENSIONES</b>			
<b>Ancho de la Máquina</b>			7 pies 7 pulg. / 2,320 mm
<b>Altura de la Máquina (retraída)</b>			10 pies 3 pulg. / 3,130 mm
<b>Altura de la Estación de Trabajo</b>			12 pies 6 pulg. / 3,800 mm
<b>Máx. Longitud de la Máquina</b>			15 pies 5 pulg. / 4,700 mm
<b>Peso***</b>			48,000 libras / 21,800 kg
<b>Tubería</b>			10 pulg. x 3 pies 254 mm x 0.91 m
<b>ESPECIFICACIONES DE LA ORUGA TRANSPORTADORA</b>			
<b>Velocidad Máxima</b>		2.8 pies/s 0.8 m/s	1.9 mph 3 km/h
<b>Potencia de Motor Diesel @ 2500 rpm</b>			138 hp / 103 kW
<b>Pendiente Máx.</b>			15°

Figura 37. Especificaciones de la maquina SBM 400 SR

Fuente. Empresa Tumi Raise Boring 2019

## i. Avance de perforación maquina SBM 400 SR-084

El avance de la máquina raise boring depende de la calidad de roca que se vaya a perforar (condiciones geológicas y geo mecánicas) considerándose de la siguiente manera:

Tabla 34. Condiciones de perforación según la calidad de roca.

<b>PARAMETROS DE PERFORACION</b>			
<b>ACTIVIDAD</b>	<b>TIPO DE ROCA</b>	<b>AVANCE</b>	<b>MPA</b>
PILOTO	VOLCANICA/ INTRUSIVA	1.40 a 1.80 m	150 (normal)
RIMADO		0.50 a 0.70 m	200 (Severa)

Fuente. Empresa Tumi Raise Boring 2019.

Tabla 35. Costos unitarios de construcción de chimenea Raise Boring

DETALLES DE PRECIOS UNITARIOS EN DIÁMETRO DE 2.10 m						
SUPERVISIÓN (MOD)	UNIDAD	CANTIDAD	INCIDENCIA	US\$/ MES	BBSS+PROV	US\$/ MT
Ingeniero Residente	Tarea	1.00	0.25	3.125,60	2.500,61	9.44
Ingeniero Seguridad	Tarea	1.00	0.25	2.518,98	2.108,81	7.76
Administrador de Obra	Tarea	1.00	0.25	1.062,35	1.168,05	3.74
					<b>Sub total 01</b>	<b>20.94</b>
MANO DE OBRA(MOD)	UNIDAD	CANTIDAD	INCIDENCIA	US\$/ MES	BBSS+PROV	US\$/ MT
Supervisor de Turno	Tarea	1.00	0.25	1.955,72	1.745,04	18.63
Operador RB	Tarea	1.00	1.00	1.232,83	1.278,15	50.56
Mecánico RB	Tarea	1.00	0.25	1.348,49	1.352,86	13.60
Ayudante RB	Tarea	2.00	1.00	1.092,47	1.187,50	45.91
Ayudante RB-Conductor	Tarea	1.00	1.00	1.092,47	1.187,50	45.91
					<b>Sub total 02</b>	<b>174.61</b>
PERFORACIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	INCIDENCIA	US\$/ MES		US\$/ MT
Máquina SBM 400 SR	mes	1.00	1.00	31.041,67		208.33
Áceros de perforación	mes	1.00	1.00	36.099,46		242.28
Bomba de agua	mes	1.00	1.00	2.607,50		17.50
Mtto máquina RB y Accesorios	mes	1.00	1.00	10.2021,28		68.46
					<b>Sub total 03</b>	<b>536.57</b>
PERFORACIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	INCIDENCIA	US\$/ MES		US\$/ MT
Camioneta 4X4	mes	1.00	1.00	3.760,00		50.47
Alimentación	mes	1.00	1.00	3.469,00		23.29
Campamento, servicios	mes	1.00	1.00	1.438,76		9.66
Herramientas	mes	1.00	1.00	602,85		4.05
Fletes, Envíos	mes	1.00	1.00	474,40		3.18
Materiales Oficina	mes	1.00	1.00	1.166,83		7.83
					<b>Sub total 04</b>	<b>98.48</b>
OTROS GASTOS	UNIDAD	CANTIDAD	INCIDENCIA	US\$/ MES		US\$/ MT
EPPS	mes	1	1.00	989,06		6.64
Equipos Control SSOMA	mes	1	1.00	383,75		2.58
Capacitaciones SSOMA	mes	1	1.00	466,67		3.13
Exámenes Médicos	mes	1	1.00	438,92		2.95
Seguro Máquina -componentes	mes	1	1.00	1.790,78		12.02
					<b>Sub total 05</b>	<b>27.32</b>
<b>SUB TOTAL COSTO DIRECTO</b>				<b>857.92</b>		
<b>Margen</b>				<b>15%</b>	<b>151.39</b>	
<b>Costo por metro ( Valor expresado en Dólares Americanos)</b>						<b>1.108.10</b>
<b>Costo de P-Piloto 11"</b>				<b>34%</b>	<b>377</b>	
<b>Costo de P-Rimado 2.10mts</b>				<b>66%</b>	<b>731</b>	
<b>Costo de P- Solo piloto 11"</b>				<b>45%</b>	<b>499</b>	
Tarifa Stand By solo MOD	hora	97.00				
Tarifa Stand By por MOD y máquina RB	hora	168.00				
Perforación Re-Piloto 40%	metro	443.00				

Fuente. Productividad Tumi Raise Boring

Para esta investigación se tomó como muestra el siguiente proyecto realizado en el NV.1880 T 119 A OB2B, el cual presenta una longitud de 27.30 metros y una sección de 2.10 m.

#### j. Resumen de distribución de tiempos al día

**Tabla 36.** *Distribución de tiempos en construcción de chimenea Slot con Raise Boring.*

Actividad	Duración
1-Movimiento, Ensamblaje / Set up	1:20:00
9-Mantenimiento Preventivo / Preventive Maintenance	1:25:00
10-Viaje, transporte / Travel, transportation	4:00:00
11-Charla de Seguridad / Safety Talk	2:00:00
12-Refrigerio / Lunch	2:00:00
14-Tiempo Improductivo (Cliente) / Down time (Customer)	4:30:00
16-Otros / Others	1:25:00
5-Ingreso y Salida de tuberías / Put and take out pipes	2:30:00
2-Piloto / Pilot	2:35:00
3-Conexión Escariador / Reaming head connection	0:35:00
4-Rimado / Ream	1:40:00
<b>Total general</b>	<b>24:00:00</b>

Fuente. Elaboración Propia

#### k. Total, de días en ejecutar chimenea Slot

La tabla 34 es el resumen de días que tarda la maquina en realizar el proyecto NV.1880 T 119 A OB2B de 27.30 m

**Tabla 37.** *Días en construcción de chimenea Slot de 27.30 m, Raise Boring.*

METODO RAISE BORING				
DIA		1°	2°	3°
Guardia A	P-Piloto	23.66	-	-
	P-Rimado	-	10.92	6.37
Guardia B	P-Piloto	3.64	-	-
	P-Rimado	2.73	7.28	-

Fuente. Elaboración Propia

## I. Distribución de horas efectivas en actividades del proyecto

**Tabla 38.** *Horas en actividades chimenea Slot de 27.30 m, raise boring*

<b>ACTIVIDADES</b>	<b>Suma de Duración</b>
ACTIVIDADES DE OPERACIÓN	26:10:00
ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS	24:25:00
TIEMPO MUERTO MANTENIMIENTO SR-400	1:25:00
TIEMPO MUERTO OPERACIÓN CLIENTE	8:00:00
<b>Total general</b>	<b>60:00:00</b>

Fuente. Elaboración Propia

### m. Horas Efectivas en Operación

La tabla 37 considera el resumen general de la maquina SBM 400SR-84 en operación, desde instalación ensamblaje rimado, piloto y desinstalación.

**Tabla 39.** *Horas Efectivas en Operación*

<b>ACTIVIDADES DE OPERACIÓN</b>	
<b>Etiquetas de fila</b>	<b>Duración</b>
Rimado	15:35:00
Desconexión de cabeza rimadora	0:25:00
Movimiento de Máquina	0:05:00
Piloto	2:35:00
Conexión de cabeza rimadora	0:35:00
Salida de tubería	2:25:00
Desensamblaje de Máquina	0:35:00
Ingreso de tubería	2:15:00
Estandarización de Poza de Agua	0:20:00
Pruebas de Máquina (al inicio)	0:45:00
Inspección Técnica	0:35:00
<b>Total general</b>	<b>26:10:00</b>

Fuente. Elaboración Propia



#### n. Horas Efectivas en Actividades Complementarias

Estas actividades son las que no están consideradas dentro del trabajo efectivo de la operación, pero tienen que ver directamente con la fluidez del funcionamiento, entre ellos tenemos la limpieza del detritus del piloto, orden y limpieza charla de seguridad y traslado de personal.

**Tabla 40.** *Horas Efectivas en actividades Complementarias*

<b>Etiquetas de fila</b>	<b>Suma de Duración</b>
Traslado Personal	10:00:00
Traslado de accesorios, componentes	1:15:00
Charla de Seguridad y reparto de guardia	5:00:00
Refrigerio	5:00:00
Orden y limpieza	0:20:00
Llenado de herramientas de gestión	1:15:00
Traslado de tubería	1:00:00
Limpieza del detritus del piloto	0:35:00
<b>Total general</b>	<b>24:25:00</b>

Fuente. Elaboración Propia

#### o. Tiempo muerto contratista

La siguiente tabla muestra en específico, los tiempos perdidos en operación, los cuales se originan por mantenimientos programados, correctivos y preventivos.

**Tabla 41.** *Tiempos muertos en Operación Contratista*

<b>TIEMPO MUERTO MANTENIMIENTO SR-400</b>	
<b>Etiquetas de fila</b>	<b>Suma de Duración</b>
Mantenimiento Preventivo	1:25:00
<b>Total general</b>	<b>1:25:00</b>

Fuente. Elaboración Propia

**p. Tiempo muerto Cliente**

La siguiente tabla muestra en específico muestra los tiempos que la maquina estuvo parada ya sea por falta de sostenimiento o apoyo, así como el disparo que son motivos netamente por compañía.

**Tabla 42. Tiempo muerto cliente**

<b>TIEMPO MUERTO OPERACIÓN CLIENTE</b>	
<b>Etiquetas de fila</b>	<b>Suma de Duración</b>
Disparo	5:00:00
Falta de Apoyo de Equipo	1:30:00
Falta de Sostenimiento	2:30:00
<b>Total general</b>	<b>9:00:00</b>

Fuente. Elaboración Propia

### Análisis de resultados de la propuesta de construcción de chimeneas slot.

Conforme a los resultados según las tablas N°32 y N°37 indica que un proyecto de chimenea de 27.30 metros de longitud con el método VCR se realizaría en un plazo de cuatro y medio aproximadamente, en cambio con el método de Raise Boring se realiza en dos días y medio aproximadamente.

CHIMENEA SLOT (27.30 m)	
VCR	108:00:00
RAISE BORING	60:00:00

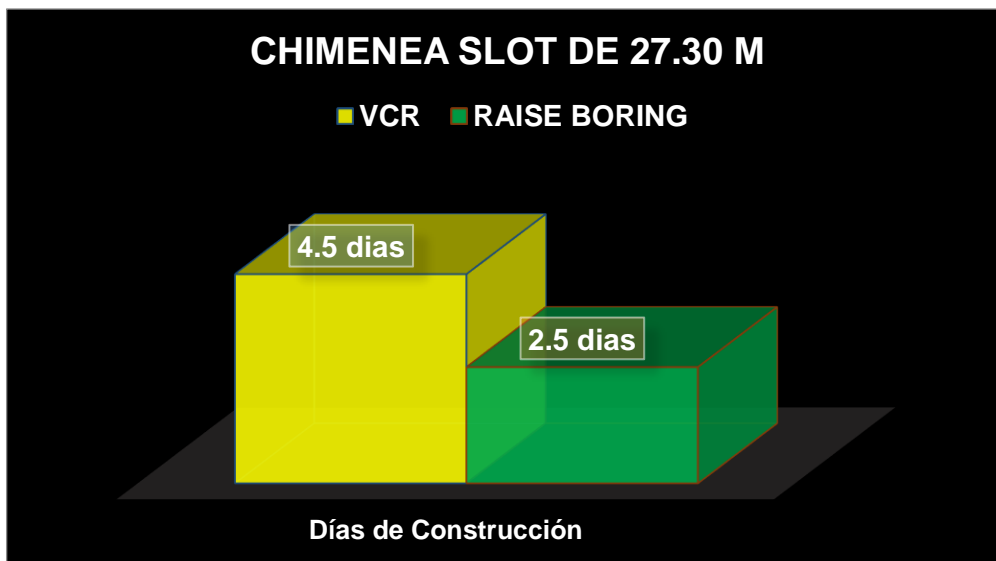


Figura: 38. Chimenea Slot 27.30 m.

Fuente. Elaboración Propia.

Según los resultados de las tablas N° 30 y N° 35 indican que el costo para realizar la chimenea conforme al método VCR sería de \$ 20,050.08, mientras que el costo de construcción con método raise boring es de \$ 30,248.40, habiendo una diferencia de \$ 10,198.32 según la cotización del proyecto requerido, por otra parte, si la empresa desea adquirir el equipo este tiene un costo aproximado de 6 millones de dólares el cual cuenta con una vida útil de 8 años, inversión que tiende a recuperarse a medio plazo, lo que facilitaría las operaciones mineras tanto en costo y tiempos brindándole un mantenimiento adecuado.

US\$ CHIMENEA SLOT (27.30 m)	
VCR	\$20,050.08
RAISE BORING	\$30,248.40

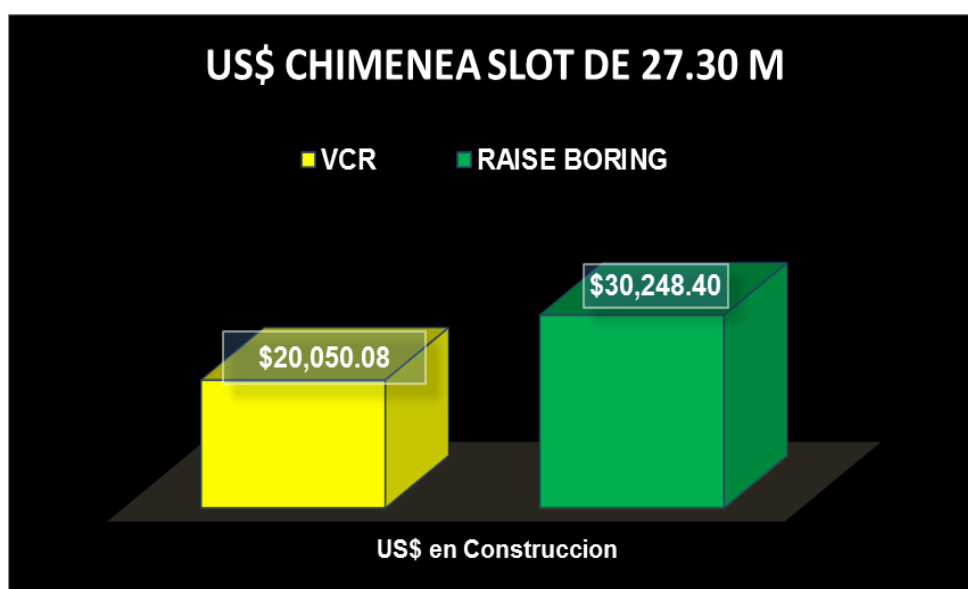


Figura: 39. US\$ Chimenea Slot 27.30 m.

Fuente. Elaboración Propia.

Considerando las características de ambos métodos es necesario precisar que el método Raise Boring en el tema de seguridad es indudablemente efectivo, puesto que la máquina y el hombre no interactúan directamente, la máquina completa y oruga pueden ser operada a través de un control remoto a una distancia considerable, respecto al medio ambiente no se contamina ya que no emite ningún tipo de gases, humos y se controla la emisión de polvo, ya que se utiliza agua, respecto al desprendimiento de material es inexistente ya que las chimeneas ejecutadas tienen forma cilíndrica, con paredes auto sostenidas, por lo anteriormente mencionado este método resulta ser más óptimo porque elimina los riesgos asociados debido a que hay una menor exposición del personal en operación a comparación del método VCR donde el personal si opera directamente la máquina, se hace uso de explosivos para la detonación y hay desprendimiento de material debido a que las paredes son inestables producto de la voladura.

	DAÑO O LESIÓN	GASES/ HUMOS	DESPRENDIMIENTO DE MATERIAL
VCR	75%	60%	50%
RAISE BORING	20%	0%	0%

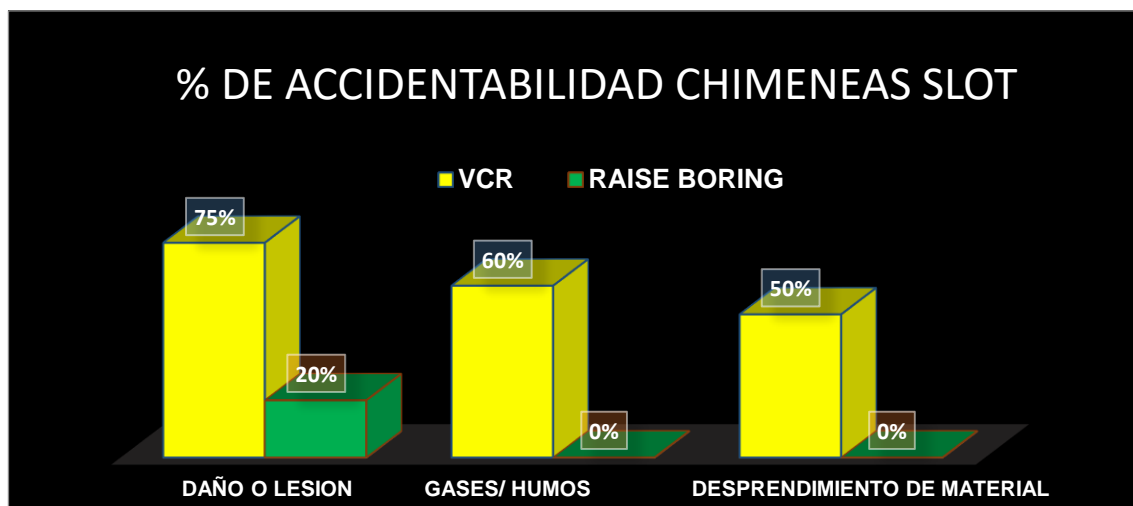


Figura: 40. % Accidentabilidad Chimenea Slot 27.30 m.

Fuente. Elaboración Propia.

## V. DISCUSIÓN

Los resultados confirman que la aplicación del método raise boring logrará optimizar los procesos de minado, relacionado a costos y tiempo de construcción de chimeneas slot; sin embargo, hay que considerar lo establecido por Rivera (2015), la explotación de minado mediante taladros largos se adaptan para depósitos minerales con una geometría de estratos o mantos con gran potencia, para aplicar construcciones de chimeneas con el Método Raise Boring, es necesario desarrollar estudios geomecánicos para determinar los parámetros de la zona del proyecto, mediante análisis, caracterización del material, y el comportamiento mecánico de la roca, puesto que, para su aplicación hay ciertos parámetros a considerar, y si se realiza para mejorar el ciclo de minado como apoyo al método de explotación, es necesario para garantizar un proceso de minado ideal considerando un balance económico de la mano con un trabajo seguro.

Conforme al autor Araujo (2018), se concuerda que mantener el equipo en óptimas condiciones ayuda a que mantenga su vida útil, conforme a como se manejen los estándares de presión, si la presión es menor a 16 MPa, la temperatura en los motores se mantiene, así como, la vibración del mismo; pero, si se realiza la perforación aplicando una presión mayor a 16 MPa, aumenta considerablemente la temperatura y la vibración de la máquina, por otra parte, la velocidad de la perforación se reduce e incrementa la posibilidad de que el escariador se atore; por ende los mejores parámetros considerables para este equipo es que trabaje en un margen máximo de 16 MPa, de tal manera que la perforación se realice sin ningún atascamiento considerando que trabaje a 10 rpm.

Se concuerda con lo afirmado por Quinto (2019) en que el método raise boring para construcción de chimeneas es factible y aceptable conforme a las características y estudios geomecánicos del macizo rocoso, considerando las rocas aflorantes para detallar sus características, tales como textura, meteorización, resistencia, durabilidad y densidad seca, determinando el tipo de terreno para verificar presencia de agentes

inestabilizadores de rocas que puedan originar derrumbes al aplicar algún método de excavación y si se da problemas de inestabilidad se recurrirá a emplear la inyección de cemento antes de perforar consiguiendo controlar y estabilizar el macizo, por ello, es recomendable que el método raise boring se aplique en casos donde las condiciones de la roca, tanto geomecánicas como geotécnicas sean estables.

Se concierta con lo consolidado por Chuquitaype (2018), el aplicar el método raise boring para construcción de chimeneas de cualquier tipo permite minorar la exposición de riesgos al personal garantizando la seguridad y salud de los trabajadores y mejora la estabilidad en las paredes de la chimenea según sea el caso, puesto que depende del tipo de roca que se traspase, la ejecución de las chimeneas con este equipo cumpliendo con estándares y procedimientos, verificando planos de geología y topografía subterránea, y la movilización del equipo. Referente al aspecto de seguridad y salud ocupacional, realizar un IPERC para evaluar las condiciones de este proceso y que los trabajadores estén informados de las actividades a ejecutarse para evitar accidentes; comprobar que todos los implementos, herramientas y otros estén en buen estado.

Se concuerda con Ollachica (2019), es necesario tener información geomecánica del macizo rocoso para generar una data de la perforación de rimado, teniendo cuidado y tomar precauciones en cada tramo de la perforación, de ese modo se determina si es o no necesario conforme al tipo de suelo, taladros de sostenimiento o inyección de lechada de cemento para construir una chimenea con el equipo Raise Boring; por otra parte este método ayuda a que las construcciones de chimeneas se realicen en un tiempo corto debido a la eficiencia del equipo; considerando los resultados de logeo geomecánico, permite que la perforación del rimado se desarrolle teniendo precauciones según las características de la roca en cada tramo a perforar.

También se concuerda con Ramos (2019), el cual menciona, que el método raise boring resulta económicamente factible en minería y construcción,

tomando en cuenta sus velocidades de rotación; además, de ser seguro y eficaz minorando la exposición de trabajadores al realizar trabajos de alto riesgo, considerando que tiene como ventajas alta seguridad, protección al medio ambiente, un avance continuo y como resultado paredes estables de las chimeneas, considerándose un método efectivo, además, los costos a largo plazo no resultan siendo elevados, son seguros y muy eficientes.

También se concuerda con Contreras (2015), mencionando que el Método Raise Boring tiene grandes ventajas para la construcción de chimeneas, entre galerías o desde la superficie, elimina los riesgos relacionados al personal puesto que la mano de obra disminuye al no hacer uso de perforación manual ni uso de explosivos, referente al medio ambiente no hay emisiones de gases ni humos dentro de las labores, y también se reaprovecha el agua puesto que realiza circuito cerrado, también tiene disponibilidad mecánica con avance continuo y buen rendimiento, haciendo perforaciones entre 12 a 13 metros por guardia, y en perforación del escariado tiene un avance de 6 a 7 metros, como resultado conforme a las características geomecánicas las paredes son auto sostenibles, y las desviaciones son mínimas, aunque el consumo de energía y el costo del equipo es elevado, se pueden recuperar conforme el avance y producción del proyecto.

Conforme a Vilca (2018), respecto a la calidad del macizo rocoso, menciona que es fundamental determinarla mediante mapeo geomecánico y logueo geotécnico, para determinar variaciones en el macizo rocoso. Realizar la construcción del pozo o chimenea aplicando el Raise Boring, siendo necesario que se use el equipo de manera adecuada por tanto el operador tendrá que estar capacitado y también interprete las diferentes caracterizaciones del macizo rocoso conforme a la lectura de planos de zonificación, y las velocidades a considerar se determinan conforme a las especificaciones técnicas de las brocas tricónicas a emplear, sería ideal aplicar una velocidad entre 4 a 12 RPM al perforar hasta 8 m de profundidad. También signar una presión de empuje ideal para mantener el control en las



desviaciones al momento de la realización del taladro piloto, considerando que la desviación máxima es de 1%.

Conforme a Chuquitaype (2018), se concuerda con que el método raise boring permite mejorar la estabilidad de las chimeneas, conforme al tipo de roca que se vaya perforando, por ello permite que las paredes de las chimeneas sean lisas; también menciona que minimiza la exposición del personal en trabajos de alto riesgo y según el tipo de chimenea a realizarse puede mejorar el sistema de ventilación o incluso el proceso de minado conforme al método de explotación, referente a un plan de seguridad para las chimeneas pos construcción , radica en la organización, y cumplimiento de la normativa, verificándose periódicamente.

## VI. CONCLUSIONES

1. En el ámbito de seguridad de acuerdo con los resultados generales de ambos métodos, se considera que el método Raise Boring es el más seguro ya que su tecnología permite que la interacción entre la máquina y el hombre sea mínima reduciendo la exposición del personal a accidentes e incidentes, no genera gases ni humo debido a que no utiliza explosivos, no hay desprendimiento de material en las chimeneas realizadas ya que este método realiza chimeneas en forma cilíndrica, dejando paredes lisas y más estables a diferencia de una construcción con un método VCR
2. Conforme a los resultados obtenidos, se concluye que referente a tiempos de construcción, considerando una chimenea de 27.30 m de longitud como prueba, el método Raise Boring realiza el proyecto en sesenta horas lo que equivalente a dos días y medio a diferencia del método VCR el cual efectúa el trabajo en ciento ocho horas equivalente a cuatro días y medio, lo cual confirma que utilizando el método raise boring optimiza tiempos lo que conlleva a tener un mejor avance en el proceso de extracción.
3. La alternativa para la construcción de chimeneas slot o de cara libre aplicando Raise Boring, resulta ser una propuesta económicamente rentable a pesar de la alta inversión ya que cumple al 100% con el objetivo de Cerro Lindo, el cual es ejecutar el proyecto en menor tiempo, maximizando la productividad y reduciendo riesgos, ahora bien enfocando esta reducción de tiempo entorno a ganancias, se obtienen dos días más de producción de mineral a comparación del método VCR, en dichos proyectos hay una diferencia de \$ 10,198.32 entre el método Raise Boring (\$ 30,248.40) y VCR (\$ 20,050.08), pero de ser conveniente la empresa puede adquirir el equipo Raise boring el cual cuesta aproximadamente \$ 6 millones teniendo una vida útil aproximada de 8 años, este garantiza su prolongación según el programa de mantenimiento y su debido cumplimiento.

4. Cerro lindo al ser una mina con condiciones, característica y estructura geológica favorable, conlleva a obtener mejores avances en perforación (m/h) contribuyendo también a optimizar el proceso de minado, ya que se ejecutan los trabajos en menor tiempo.

## **VII RECOMENDACIONES**

1. El método Raise Boring es recomendable en yacimientos donde los estudios geomecánicos comprueben que el macizo rocoso es estable, caso contrario se puede aplicar inyecciones de cemento, pero los costos aumentarían.
2. Capacitar constantemente al operador de la maquina SBM SR 400-084, verificar el cumplimiento de los PETS y estándares en la operación con la finalidad de evitar maniobras sub-estándares que afecten con la integridad del mismo.
3. Adquirir (01) maquina SBM 400 SR-84 la cual se direcciona netamente a trabajos específicos de chimeneas slots en el OB 2B para la perforación de tajos.

## REFERENCIAS

1. AGUIRRE, Sandra. Plan de minado para mejorar la productividad de la cantera de yeso El Tablazo 41 de San Pedro de Mórrope. Tesis (Título Profesional de Ingeniero de Minas). Perú: Universidad Cesar Vallejo, 2020.  
Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/53212>
2. ARAUJO, Henry. Influencia de presión y rotación en la velocidad de penetración en rimado de una chimenea inclinada 52°, Sistema Raise Borer, Mina Uchucchacua, Oyon. Trujillo, Perú: Universidad Privada del Norte, 2018.  
Disponible en: <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/14109/Araujo%20Izique%20Henry.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
3. BAUTISTA, Julio Saraeen. Diseño y planeamiento de minado subterráneo para incrementar la producción diaria de la Unidad Operativa Pallancata – Proyecto Pablo – Compañía Minera Ares S.A.C. Tesis (Título Profesional de Ingeniero de Minas). Puno, Perú. Universidad Nacional del Antiplano, 2017.  
Disponible en: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4072>
4. CHOQUE, Carlos. Análisis comparativo de métodos mecanizados para la construcción de chimeneas en la Unidad Minera Retamas Parcoy. Tesis (Título Profesional de Ingeniero De Minas). Perú: Universidad Nacional Jorge Basad Re Grohmann · Tacna, 2011.  
Disponible en: <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/560>
5. CHUQUITAYPE, Christian. Gestión de seguridad en la construcción de la chimenea raise boring 01 y sostenimiento de la columna para servicio de ventilación Empresa IESA S.A. U.O. Pallancata. Tesis (Título Profesional de Ingeniero De Minas). Perú: Universidad Nacional de San Agustín De Arequipa, 2018.  
Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/6357>

6. CONTRERAS, Laddy. Perforación de chimeneas con el método raise boring en la Unidad Minera Arcata. Tesis (Título Profesional de Ingeniero De Minas). Perú: Universidad Nacional de San Agustín De Arequipa, 2015.  
Disponible: <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/220/B2M-18222.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
7. DOMÍNGUEZ, Percy Manfredo. Plan de minado a mediano plazo para una explotación superficial con la aplicación al proyecto Santa Este de la Unidad Minera Iscaycruz - Compañía Minera Los Quenuales. Tesis (Título Profesional de Ingeniero de Minas). Piura, Universidad Nacional de Piura, 2015.
8. GARCÍA, Gustavo. Optimización del sistema de minado empleando raise boring para reducir los costos en el tajeo 270 de la zona Jimena – Cía. Minera Raura SA. Tesis (Título Profesional de Ingeniero De Minas). Perú: Universidad Nacional De Piura, 2010. Disponible en: [https://www.academia.edu/26152384/UNIVERSIDAD\\_NACIONAL\\_DE\\_PUURA\\_FACULTAD\\_DE\\_INGENIERIA\\_DE\\_MINAS\\_OPTIMIZACION\\_DEL\\_SISTEMA\\_DE\\_MINADO\\_EMPLEANDO\\_RAISE\\_BORING\\_PARA\\_REDUCIR\\_LOS\\_COSTOS\\_EN\\_EL\\_TAJEO\\_270\\_DE\\_LA\\_ZONA\\_JIMENA\\_CIA\\_MINERA\\_RAURA\\_SA\\_TESIS\\_Para\\_Optar\\_el\\_Titulo\\_Profesional\\_de](https://www.academia.edu/26152384/UNIVERSIDAD_NACIONAL_DE_PUURA_FACULTAD_DE_INGENIERIA_DE_MINAS_OPTIMIZACION_DEL_SISTEMA_DE_MINADO_EMPLEANDO_RAISE_BORING_PARA_REDUCIR_LOS_COSTOS_EN_EL_TAJEO_270_DE_LA_ZONA_JIMENA_CIA_MINERA_RAURA_SA_TESIS_Para_Optar_el_Titulo_Profesional_de)
9. MALLQUI, Edgar. Optimización de costos en extracción de mineral, implementando chimenea raise boring como ore pass del nivel 1915 al nivel 1467 de la mina Papagayo- Poderosa. Tesis (Título Profesional de Ingeniero De Minas). Perú: Universidad Nacional De Trujillo, 2019. Disponible en: <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/12151>
10. OLLACHICA, Humberto y OLLACHICA, Aurelio. Optimización en la Construcción de Chimenea en la veta Ánimas mediante el Método de Perforación Raise Boring en la Minera Bateas SAC, Caylloma. Tesis (Título Profesional de Ingeniero De Minas). Perú: Universidad Tecnológica del Perú, 2019. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12867/1932>

11. QUINTO, Junior. Análisis Geomecánico en la ejecución del Raise Borer 19 Mina Islay. Tesis (Título Profesional de Ingeniero Geólogo). Perú: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, 2019. Disponible en: [http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/1703/1/T026\\_45574040\\_T.pdf](http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/1703/1/T026_45574040_T.pdf).
12. RAMÓN, Edwin Jadmany. Construcción del pozo de presión con el método Raise boring y ensanchamiento manual en el Proyecto Hidroeléctrico Quijos. Trabajo de titulación (Título de ingeniero en geología y minas). Macas, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2015.
13. RAMOS, Daniel. Desarrollo de chimeneas de ventilación, ore pass y waste pass utilizando el método de perforación raise boring para la continuidad de labores mineras en la Unidad San Rafael. Tesis (Título Profesional de Ingeniero De Minas). Perú: Universidad Nacional del Altiplano, 2019. Disponible en: [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/14275/Ramos\\_Percca\\_Daniel.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/14275/Ramos_Percca_Daniel.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
14. RIVERA, Miguel. Construcción de chimeneas raise borer para optimizar el proceso de minado y los costos de explotación en el tajo 355 de Reina Leticia en Compañía Minera Raura S.A. Tesis (Título Profesional de Ingeniero De Minas). Perú: Universidad Nacional del Centro Del Perú, 2015. Disponible en: <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/1349/2015%20Tesis%20Miguel%20Rivera%20Huam%C3%A1n%2024-06-2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
15. VILCA, Junior y VILCA, Juan. Aplicación de la geomecánica para el control de la desviación en la perforación del taladro piloto con equipo raise boring en la ejecución de chimeneas en la Unidad Minera San Rafael – MINSUR S.A. Tesis (Título Profesional de Ingeniero De Minas). Perú: Universidad Nacional del Altiplano, 2018. Disponible en: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/8026>

16. VILCHES, Felipe. Ejecución de chimeneas mediante sistema Alimak y Raise Borer. Santiago de Chile, Chile. 2015



## ANEXOS

### Anexo N°01: Carta de Aceptación

"AÑO DEL BICENTENARIO DEL PERÚ: 200 AÑOS DE INDEPENDENCIA"

Chincha, 20 de noviembre del 2020

#### CARTA DE ACEPTACIÓN

Doctor

Beder Erasmo Martell Espinoza

Director Nacional de EP Ingeniería de Minas

UCV - Filial Chiclayo

De acuerdo a la solicitud enviada por usted, le informamos que la mina Cerro Lindo, está presto para colaborar con la estudiante Ramos Díaz, Stephany Lizeth con, DNI N° 48000643 para el desarrollo de su investigación titulada "Aplicación del método raise boring para optimizar el proceso de minado en los tajos ORE BODY 2B U.M. Cerro Lindo S.A." brindándoles las facilidades de acceso a las labores que estén a nuestro alcance, para contribuir a su formación profesional.

Cordialmente .



Jefe de Operaciones -Cia Mina.


**Anexo N°02: Matriz de Consistencia**

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	TIPO DE INVESTIGACIÓN	POBLACIÓN	TÉCNICAS	MÉTODOS DE ANÁLISIS DE DATOS
¿Cómo se podría optimizar el proceso de minado en los tajos ORE BODY 2B en la U.M. Cerro Lindo?	<p><b>GENERAL</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Proponer la aplicación del método raise boring con el fin de optimizar el proceso de minado en los tajos ORE BODY 2B en la U.M. Cerro Lindo</li> </ul> <p><b>ESPECÍFICOS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Describir de manera general las operaciones de la U.M. Cerro Lindo</li> <li>Evaluar el sistema de minado actual</li> <li>Identificar los beneficios al emplear el método raise boring</li> </ul>	<p>HIP. GENERAL</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Si se propone la construcción de chimeneas slot empleando el Método Raise Boring entonces se logrará optimizar el proceso de minado en la Unidad Minera Cerro Lindo S.A</li> </ul> <p>HIP.SECUNDARIAS:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Si se describen las operaciones mineras se podrá identificar puntos críticos.</li> <li>Al ejecutar el método raise boring se podrá mejorar el proceso de extracción.</li> <li>Al aplicar el método raise boring se podrá obtener beneficios en tiempos y costos</li> </ul>	<p>VI: Construcción de Chimeneas Raise Boring</p> <p>VD: Proceso de Minado Tajo OB 2B</p>	Aplicado	La población se compuso por todos los tajos de la Unidad Minera Cerro Lindo S.A.	Técnicas documentales y de campo	<p>Método analítico, la cual es una técnica que permite centrarse en la experimentación y la razón, es así que se diagnostica la anomalía de la situación rigiéndose de la práctica directa y el razonamiento.</p> <p>Método sistemático, la cual ayuda a conservar un orden para acercarnos a la comprensión sistemática de lo investigado de este modo se permitirá examinar y contrastar todos los puntos críticos</p>
				<b>DISEÑO</b>	<b>MUESTRA</b>	<b>INSTRUMENTOS</b>	
				Cuantitativo no Experimental-transversal/ Descriptivo	Cuerpo mineralizado OB2 block 422 (tajos T – 119A, T-179, T-119AS), encontrándose entre los niveles 1880 - 1910	Los programas de Word y Excel Guías de Laboratorio Software Arcgis para planos geográficos y geológicos.	

Anexo N°03: Reportes de operaciones Diario

DIARIO DE OPERACIONES												TUMI-OP-08	
CONDICIONES DE TRABAJO				CONDICIONES DE TRABAJO				CONDICIONES DE TRABAJO					
DESCRIPCION DE OPERACIONES												FECHA: 02-08-20	
MOTOR: DIESEL												HORA: 19:00	
MOTOR: DIESEL												HORA: 27:00	
19	19.00	10.1	0.91	15.43	01.26	01.29	00.01	06.39	05				
20	19.05	10.1	0.91	15.43	01.29	01.34	00.05	06.34	30	0.5	0.5		duro
21	19.10	10.1	0.91	16.38	01.34	01.37	00.03	06.33					
22	19.15	10.1	0.91	16.38	01.37	01.41	00.04	06.47	30	0.5	0.5		duro
23	19.20	10.1	0.91	17.29	01.41	01.47	00.06	05.12					
24	19.25	10.1	0.91	17.29	01.47	01.53	00.07	05.10	30	2.0	2.0		duro
25	19.30	10.1	0.91	18.70	01.53	01.58	00.05	05.28	30	0.5	0.5		duro
26	19.35	10.1	0.91	19.11	01.58	02.01	00.03	05.26	30	0.5	0.5		duro
27	19.40	10.1	0.91	20.62	02.01	02.04	00.03	04.59					
28	19.45	10.1	0.91	20.62	02.04	02.07	00.03	04.54	30	0.5	0.5		duro
29	19.50	10.1	0.91	21.50	02.07	02.10	00.03	04.47	30	0.5	0.5		duro
30	19.55	10.1	0.91	21.50	02.10	02.13	00.03	04.42	30	0.5	0.5		duro
31	20.00	10.1	0.91	21.50	02.13	02.16	00.03	04.37	30	0.5	0.5		duro
32	20.05	10.1	0.91	21.50	02.16	02.19	00.03	04.32	30	0.5	0.5		duro
33	20.10	10.1	0.91	21.50	02.19	02.22	00.03	04.27	30	0.5	0.5		duro
34	20.15	10.1	0.91	21.50	02.22	02.25	00.03	04.22	30	0.5	0.5		duro
35	20.20	10.1	0.91	21.50	02.25	02.28	00.03	04.17	30	0.5	0.5		duro
36	20.25	10.1	0.91	21.50	02.28	02.31	00.03	04.12	30	0.5	0.5		duro
37	20.30	10.1	0.91	21.50	02.31	02.34	00.03	04.07	30	0.5	0.5		duro
38	20.35	10.1	0.91	21.50	02.34	02.37	00.03	04.02	30	0.5	0.5		duro
39	20.40	10.1	0.91	21.50	02.37	02.40	00.03	03.57	30	0.5	0.5		duro
40	20.45	10.1	0.91	21.50	02.40	02.43	00.03	03.52	30	0.5	0.5		duro
41	20.50	10.1	0.91	21.50	02.43	02.46	00.03	03.47	30	0.5	0.5		duro
42	20.55	10.1	0.91	21.50	02.46	02.49	00.03	03.42	30	0.5	0.5		duro
43	21.00	10.1	0.91	21.50	02.49	02.52	00.03	03.37	30	0.5	0.5		duro
44	21.05	10.1	0.91	21.50	02.52	02.55	00.03	03.32	30	0.5	0.5		duro
45	21.10	10.1	0.91	21.50	02.55	02.58	00.03	03.27	30	0.5	0.5		duro
46	21.15	10.1	0.91	21.50	02.58	03.01	00.03	03.22	30	0.5	0.5		duro
47	21.20	10.1	0.91	21.50	03.01	03.04	00.03	03.17	30	0.5	0.5		duro
48	21.25	10.1	0.91	21.50	03.04	03.07	00.03	03.12	30	0.5	0.5		duro
49	21.30	10.1	0.91	21.50	03.07	03.10	00.03	03.07	30	0.5	0.5		duro
50	21.35	10.1	0.91	21.50	03.10	03.13	00.03	03.02	30	0.5	0.5		duro
51	21.40	10.1	0.91	21.50	03.13	03.16	00.03	02.57	30	0.5	0.5		duro
52	21.45	10.1	0.91	21.50	03.16	03.19	00.03	02.52	30	0.5	0.5		duro
53	21.50	10.1	0.91	21.50	03.19	03.22	00.03	02.47	30	0.5	0.5		duro
54	21.55	10.1	0.91	21.50	03.22	03.25	00.03	02.42	30	0.5	0.5		duro
55	22.00	10.1	0.91	21.50	03.25	03.28	00.03	02.37	30	0.5	0.5		duro
56	22.05	10.1	0.91	21.50	03.28	03.31	00.03	02.32	30	0.5	0.5		duro
57	22.10	10.1	0.91	21.50	03.31	03.34	00.03	02.27	30	0.5	0.5		duro
58	22.15	10.1	0.91	21.50	03.34	03.37	00.03	02.22	30	0.5	0.5		duro
59	22.20	10.1	0.91	21.50	03.37	03.40	00.03	02.17	30	0.5	0.5		duro
60	22.25	10.1	0.91	21.50	03.40	03.43	00.03	02.12	30	0.5	0.5		duro
61	22.30	10.1	0.91	21.50	03.43	03.46	00.03	02.07	30	0.5	0.5		duro
62	22.35	10.1	0.91	21.50	03.46	03.49	00.03	02.02	30	0.5	0.5		duro
63	22.40	10.1	0.91	21.50	03.49	03.52	00.03	01.57	30	0.5	0.5		duro
64	22.45	10.1	0.91	21.50	03.52	03.55	00.03	01.52	30	0.5	0.5		duro
65	22.50	10.1	0.91	21.50	03.55	03.58	00.03	01.47	30	0.5	0.5		duro
66	22.55	10.1	0.91	21.50	03.58	04.01	00.03	01.42	30	0.5	0.5		duro
67	23.00	10.1	0.91	21.50	04.01	04.04	00.03	01.37	30	0.5	0.5		duro
68	23.05	10.1	0.91	21.50	04.04	04.07	00.03	01.32	30	0.5	0.5		duro
69	23.10	10.1	0.91	21.50	04.07	04.10	00.03	01.27	30	0.5	0.5		duro
70	23.15	10.1	0.91	21.50	04.10	04.13	00.03	01.22	30	0.5	0.5		duro
71	23.20	10.1	0.91	21.50	04.13	04.16	00.03	01.17	30	0.5	0.5		duro
72	23.25	10.1	0.91	21.50	04.16	04.19	00.03	01.12	30	0.5	0.5		duro
73	23.30	10.1	0.91	21.50	04.19	04.22	00.03	01.07	30	0.5	0.5		duro
74	23.35	10.1	0.91	21.50	04.22	04.25	00.03	01.02	30	0.5	0.5		duro
75	23.40	10.1	0.91	21.50	04.25	04.28	00.03	00.57	30	0.5	0.5		duro
76	23.45	10.1	0.91	21.50	04.28	04.31	00.03	00.52	30	0.5	0.5		duro
77	23.50	10.1	0.91	21.50	04.31	04.34	00.03	00.47	30	0.5	0.5		duro
78	23.55	10.1	0.91	21.50	04.34	04.37	00.03	00.42	30	0.5	0.5		duro
79	24.00	10.1	0.91	21.50	04.37	04.40	00.03	00.37	30	0.5	0.5		duro
80	24.05	10.1	0.91	21.50	04.40	04.43	00.03	00.32	30	0.5	0.5		duro
81	24.10	10.1	0.91	21.50	04.43	04.46	00.03	00.27	30	0.5	0.5		duro
82	24.15	10.1	0.91	21.50	04.46	04.49	00.03	00.22	30	0.5	0.5		duro
83	24.20	10.1	0.91	21.50	04.49	04.52	00.03	00.17	30	0.5	0.5		duro
84	24.25	10.1	0.91	21.50	04.52	04.55	00.03	00.12	30	0.5	0.5		duro
85	24.30	10.1	0.91	21.50	04.55	04.58	00.03	00.07	30	0.5	0.5		duro
86	24.35	10.1	0.91	21.50	04.58	05.01	00.03	00.02	30	0.5	0.5		duro
87	24.40	10.1	0.91	21.50	05.01	05.04	00.03	00.00	30	0.5	0.5		duro
88	24.45	10.1	0.91	21.50	05.04	05.07	00.03	00.00	30	0.5	0.5		duro
89	24.50	10.1	0.91	21.50	05.07	05.10	00.03	00.00	30	0.5	0.5		duro
90	24.55	10.1	0.91	21.50	05.10	05.13	00.03	00.00	30	0.5	0.5		duro
91	25.00	10.1	0.91	21.50	05.13	05.16	00.03	00.00	30	0.5	0.5		duro
92	25.05	10.1	0.91	21.50	05.16	05.19	00.03	00.00	30	0.5	0.5		duro
93	25.10	10.1	0.91	21.50	05.19	05.22	00.03	00.00	30	0.5	0.5		duro
94	25.15	10.1	0.91	21.50	05.22	05.25	00.03	00.00	30	0.5	0.5		duro
95	25.20	10.1	0.91	21.50	05.25	05.28	00.03	00.00	30	0.5	0.5		duro
96	25.25	10.1	0.91	21.50	05.28	05.31	00.03	00.00	30	0.5	0.5		duro
97	25.30	10.1	0.91	21.50	05.31	05.34	00.03	00.00	30	0.5	0.5		duro
98	25.35	10.1	0.91	21.50	05.34	05.37	00.03	00.00	30	0.5	0.5		duro
99	25.40	10.1	0.91	21.50	05.37	05.40	00.03	00.00	30	0.5	0.5		duro
100	25.45	10.1	0.91	21.50	05.40	05.43	00.03	00.00	30	0.5	0.5		duro
101	25.50	10.1	0.91	21.50	05.43	05.46	00.03	00.00	30	0.5	0.5		duro
102	25.55	10.1	0.91	21.50	05.46	05.49	00.03	00.00	30	0.5	0.5		duro
103	26.00	10.1	0.91	21.50	05.49	05.52	00.03	00.00	30	0.5	0.5		duro
104	26.05	10.1	0.91	21.50	05.52	05.55	00.03	00.00	30	0.5	0.5		duro
105	26.10	10.1	0.91	21.50	05.55	05.58							

## Anexo N°05: Ficha de Análisis de Trabajo Seguro (ATS)

		Registro : CL-SSO-P-04-1 Rev: 0.0 Actualización: 20/02/2017			
ANÁLISIS DE TRABAJO SEGURO (ATS)					
Fecha:	Hora inicio:	Hora Fin.	Personal Ejecutor	Firmas del personal ejecutor	
Nombre del titular de la actividad Minera:					
Nombre de la tarea o trabajo					
Area / Zona:					
Superintendencia /Departamento:					
Equipo de Protección Personal			Equipos y Herramientas a usar (Detectores de gases, ventiladores, iluminación, etc)		
Casco <input type="checkbox"/>	Orejeras <input type="checkbox"/>	Zapatos Dieléctricos <input type="checkbox"/>			
Lentes de Seguridad <input type="checkbox"/>	Gautes <input type="checkbox"/>	Uniforme con cinta reflectiva <input type="checkbox"/>			
Respirador <input type="checkbox"/>	Botas de Seguridad <input type="checkbox"/>	Chaleco de Seguridad <input type="checkbox"/>			
Tapón Auditivo <input type="checkbox"/>	Zapatos de Seguridad <input type="checkbox"/>	Lámpara / Correa de seguridad <input type="checkbox"/>			
Otros EPP :					
N°	Pasos de la tarea	Identificación de Peligros / "Aspectos Ambientales"	Riesgos Potenciales / "Impactos Ambientales"	Medidas preventivas de Control	Responsable
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
El trabajo a realizar incluye: <input type="checkbox"/> Trabajos en altura <input type="checkbox"/> Trabajos en caliente <input type="checkbox"/> Trabajos en espacios confinados <input type="checkbox"/> Trabajos en Líneas de alta tensión					
_____ Nombre y firma del Supervisor de trabajo			_____ Nombre y firma del Supervisor de área		
Registro del "SGM"			Página 1 de 1		

**Anexo N°6: Permiso Escrito de Trabajo Alto Riesgo (PETAR)**

	<b>PERMISO ESCRITO DE TRABAJO DE ALTO RIESGO "PETAR"</b>	TUMI-SSOMA-F-15
		Versión: 03

**DATOS DE LA ZONA DE OPERACION**

AREA:  
LUGAR:  
FECHA / TURNO:  
HORA INICIO:  
HORA FINAL:  
NUMERO:

**1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO:**

(\*)

**2. RESPONSABLES DEL TRABAJO:**

Ocupación	Nombres	Firma de Inicio	Firma de término

**3. EQUIPO DE PROTECCIÓN REQUERIDO**

Casco con barbiquejo	<input type="checkbox"/>	Protección visual	<input type="checkbox"/>	Protector de oídos	<input type="checkbox"/>
Mameluco	<input type="checkbox"/>	Arnés de seguridad y línea de vida	<input type="checkbox"/>	Respirador c / gases , polvo	<input type="checkbox"/>
Guantes	<input type="checkbox"/>	Correa para lámpara	<input type="checkbox"/>	Otros:	<input type="checkbox"/>
Botas de jebe y/o zapato punta de acero	<input type="checkbox"/>	Lámpara de batería	<input type="checkbox"/>	.....	<input type="checkbox"/>
Zapatos planta dieléctrica	<input type="checkbox"/>	Morral de Lona	<input type="checkbox"/>	.....	<input type="checkbox"/>

**4. HERRAMIENTAS, EQUIPOS Y MATERIALES**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**5. PROCEDIMIENTO**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**6. AUTORIZACIÓN Y SUPERVISIÓN**

	1	2	3
<b>Nombre</b>			
<b>Cargo</b>			

# Anexo N°7: Ficha de Observación Planeada de Trabajo (OPT)



Registro : CL-SSO-P-46-1 Rev : 0.0  
 Actualización : 19/06/2015 :

## Observación Planeada de la Tarea (OPT)

Área: \_\_\_\_\_ Actividad: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_  
 Operador / Ayudante: (persona entrenada en el documento): \_\_\_\_\_  
 Jefe de guardia / Supervisor (Nombre de quien aplica la OPT): \_\_\_\_\_  
 PETS: \_\_\_\_\_ Código: \_\_\_\_\_ Revisión: \_\_\_\_\_

1. Verificación de recursos adecuados		Cumple		Observación	Acción correctiva	Responsable	Fecha
		Si	No				
1.1. ¿Herramientas disponibles / adecuadas?							
1.2. ¿Equipos de comunicación OK?							
1.3. ¿Los EPPs definidos para tarea están disponibles? (listar los EPPs)							
-							
-							
-							
-							
-							
-							
-							
2. Descripción de las actividades Pasos operacionales		Cumpl e		Observación / Desviación observada	Acción correctiva	Responsabl e	Fecha
		Si	No				

Registro Pagina 1 de 2



Registro : CL-SSO-P-46-1 Rev : 0.0  
 Actualización : 19/06/2015 :


3. Verificación de calidad del Documento		Cumple		Observación	Acción Correctiva	Responsable	Fecha
		Si	No				
3.1 ¿Está actualizado?							
3.2 ¿Está conservado?							
3.3 ¿Fácil acceso para consulta?							

4. Verificación de la Eficacia del entrenamiento en el documento		Cumple		Observación	Acción correctiva	Responsable	Fecha
		Si	No				
4.1. ¿Domina la habilidad necesaria?							

5. Restricciones		Si	No	Observación	Acción correctiva	Responsable	Fecha
-							
-							
-							


\_\_\_\_\_  
 Firma del supervisor

\_\_\_\_\_  
 Firma del operador

Registro Pagina 2 de 2

**Anexo N°8: Ficha de Habla Fácil (HF)**

	<b>HABLA FACIL</b>	TUMI-SSOMA-CEL-F-06
		Versión 1
NOMBRE (opcional): _____ SUPERINTENDENCIA: _____ FECHA: _____ AREA: _____ N° DE DNI: _____ HORA: _____		
<b>CLASIFICACIÓN</b>		
<input type="checkbox"/> COMPORTAMIENTO DE RIESGO <input type="checkbox"/> CASI ACCIDENTE <input type="checkbox"/> DERECHO A DECIR NO <input type="checkbox"/> CONDICION DE RIESGO		
<b>POTENCIAL DE GRAVEDAD</b>		
<input type="checkbox"/> 01 <input type="checkbox"/> 02 <input type="checkbox"/> 03 <input type="checkbox"/> 04 <input type="checkbox"/> 05 <input type="checkbox"/> 06		
LUGAR: _____ EQUIPO: _____		
<b>DESCRIPCION DE LA OBSERVACION</b>		
_____ _____ _____ _____		

	
<b>RIESGOS CRÍTICOS DE SEGURIDAD</b>	
<input type="checkbox"/> ESPACIO CONFINADO <input type="checkbox"/> BLOQUEO DE ENERGIA <input type="checkbox"/> PROTECCION DE MAQUINAS <input type="checkbox"/> CARGA SUSPENDIDA <input type="checkbox"/> EXCAVACION SUBTERRANEA <input type="checkbox"/> EXCAVACIONES CIVILES <input type="checkbox"/> ANIMALES PONZO VENENOSOS	<input type="checkbox"/> INSTALACIONES ELÉCTRICAS <input type="checkbox"/> SISTEMAS PRESURIZADOS <input type="checkbox"/> SUSTANCIAS QUIMICAS Y GASES PRESURIZADOS <input type="checkbox"/> PREVENCIÓN DE CAÍDAS <input type="checkbox"/> VEHÍCULOS Y EQUIPOS MÓVILES <input type="checkbox"/> HERRAMIENTAS MANUALES
<b>RIESGOS CRÍTICOS DE MEDIO AMBIENE</b>	
<input type="checkbox"/> TRANS. CARGAS PELIGROSAS / ATENCIÓN A EMERGENCIAS <input type="checkbox"/> CONSUMO DE RECURSOS NATURALES <input type="checkbox"/> SERVICIOS ECOSISTÉMICOS <input type="checkbox"/> PRESAS Y DEPÓSITOS EN PILAS	<input type="checkbox"/> PLAN DE CIERRE / AREAS CONTAMINADAS <input type="checkbox"/> AGUAS Y EFLUENTES LÍQUIDOS <input type="checkbox"/> EMISIONES ATMOSFÉRICAS <input type="checkbox"/> RESIDUOS SÓLIDOS
<b>ACCIÓN DE BLOQUEO</b>	
_____ _____ _____	
<b>PLAN DE ACCIÓN</b>	
ACCIÓN: _____ RESP: _____ PLAZO: _____	

Anexo N°9: Ficha de Observación de Riesgo de la Tarea (ORT)



ORT (Observación de Riesgos en el Trabajo)

Registro: CL-SSO-P-50-1 Rev.: 1  
Actualización: 17/08/2018

<b>Nombre del Observador:</b>	<b>Turno del Observado: Dia ( ) Noche ( )</b>
<b>Fecha:</b> / / <b>Hora:</b>	<b>Actividad Observada:</b>
<b>Lugar de la Observación:</b>	<b>Nº Personas Observadas:</b>
<b>Area del Observado:</b>	<b>Coach Realizado? ( ) Sí ( ) No</b>
<b>Area del Observador:</b>	<b>Nombre Coach:</b>

Escriba:  
( 0 ) Si el comportamiento no lo observó o no lo habló con el observado  
( 1 ) Si el comportamiento fue identificado como seguro o de riesgo.p  
( NA ) Si el comportamiento no aplica a la actividad que estuvo observando

	Seguro	Riesgo	Pot. Grav.	Describe la desviación y causa	Riesgo Crítico
<b>1. Uso del Cuerpo/Posición</b>					
1.1 ¿El observado mantiene la vista en la tarea que está ejecutando?					
1.2 ¿El observado mantiene el cuerpo o parte lejos de la línea de fuego de máquinas, herramientas y equipos?					
1.3 ¿Al subir/bajar niveles diferentes, el observado utiliza los puntos de apoyo?					
<b>2. Herramientas / Equipos</b>					
2.1 ¿El observado usa de forma adecuada las máquinas, equipos y herramientas?					
2.2 ¿Los equipos, máquinas y herramientas son adecuados para la actividad y están en buenas condiciones de uso?					
<b>3. Procedimientos/Buena Práctica Operacional / Riesgos Críticos</b>					
3.1 ¿El sistema en que se está haciendo la intervención está adecuadamente bloqueado?					
3.2 ¿El observado tiene permiso para trabajo, ATS o IPERC, y están llenados correctamente?					
3.3 ¿El observado tiene capacitación (entrenamiento y autorización formal) para ejecutar la actividad?					
3.4 ¿El observado cumple todos los procedimientos de Seguridad exigidos para la actividad?					
<b>4. Ergonomía</b>					
4.1 ¿El observado hace movimientos/ posturas ergonómicamente correctos?(no levanta cargas mayores a 25kg, no realiza torsión de la espalda, realiza flexión de rodillas al levantar carga?					
<b>5. Señalización/Aislamiento</b>					
5.1 ¿El observado señaló/ aisló correctamente el área de trabajo?					
5.2 ¿El observado respetó la señalización y aislamiento del lugar?					
<b>6. USO EPP's</b>					
6.1 ¿El observado usa, y de forma adecuada, los EPP's exigidos para el lugar/ actividad?					
6.2 ¿Los EPP's utilizados están en perfecto estado de conservación y funcionamiento?					
<b>7. Medio Ambiente</b>					
7.1 ¿Hubo desperdicio de recursos naturales durante la ejecución de la actividad?					
7.2 ¿El observado eliminó correctamente los residuos?					
<b>8 Orden y Limpieza</b>					
8.1 ¿El observado aplica y mantiene orden y limpieza en el área de trabajo?					





**ORT (Observación de Riesgos en el Trabajo)**

Registro:

Rev.:1

Actualización: 17/08/2018

9. ¿El empleado reconoce y controla los siguientes riesgos:	Seguro	Riesgo	Poten cial	Describe la desviación y causa	Riesgo Crítico
9.1 Corte					
9.2 Aprisionamiento					
9.3 Caída de personas					
9.4 Proyección de Partículas					
9.5 Chicotazo de mangueras/tuberías					
9.6 Caída de material/ objetos/ roca					
9.7 Contacto con (sustancia química, partes calientes, etc.)					
9.8 Otros:					
10. Conducta del Observado	Seguro	Riesgo	Poten cial	Describe la desviación y causa	Riesgo Crítico
10.1 ¿El Observado tiene predisposición para colaborar con la observación?					
10.2 ¿El Observado mantuvo el comportamiento adecuado (sin resistencia, agresividad o apatía) durante la observación?					

RIESGOS CRÍTICOS					
01	Bloqueo de Energías	07	Trabajo en Altura	11.3	Excavación Civil
02	Protección de Máquinas	08	Sustancias Químicas Peligrosas	12	Animales Venenosos
03	Herramientas Manuales	09	Sistemas Presurizados	13	Vehículos Livianos y Equipo Móviles
04	Instalaciones Eléctricas	10	Caída de Roca	14	Metal Líquido
05	Espacios Confinados	11.1	Excavación Subterránea	15	NA
06	Cargas Suspendidas	11.2	Excavación Tajo Abierto		

**Compromisos Acordados y Acciones:**

Punto ( )	Capaz ( )	Incapaz ( )
Punto ( )	Capaz ( )	Incapaz ( )
Punto ( )	Capaz ( )	Incapaz ( )
Punto ( )	Capaz ( )	Incapaz ( )

Anexo N°10: Fotos de las Operaciones de Cerro Lindo S.A

Máquina SBM 400 SR



## Verificación en el Área de Trabajo



## Verificación de Planos



## Estandarización de Cámara



## Instalación de Máquina



Tuberías de perforación  
254 mm \* 0.91 m



Brazo Posicionador



## Comunicación de taladro piloto



## Taladro Piloto



Embonado de Escariador (cabeza rimadora)



Cabeza Rimadora (7 pies/10 pies)





## Acta de Sustentación del Trabajo de Investigación

Chiclayo, 09 de Julio de 2021

Siendo las 17:40 horas del día 09 del mes julio de 2021, el jurado evaluador se reunió para presenciar el acto de sustentación del Trabajo de Investigación / Tesis titulado:

**“Aplicación del Método Raise Boring para Optimizar el Proceso de Minado en los Tajos ORE BODY 2B U.M. Cerro Lindo S.A.”**, Presentado por los autores **Bach. Stephany Lizeth Ramos Díaz y Bach. Roxana Elizabeth Huado Espinoza** egresado de la Escuela Profesional Ingeniería de Minas.

Concluido el acto de exposición y defensa del Trabajo de Investigación / Tesis, el jurado luego de la deliberación sobre la sustentación, dictaminó:

<b>Autores</b>	<b>Dictamen (**)</b>
Bach. Roxana Elizabeth Huado Espinoza	<b><i>Aprobar por Unanimidad</i></b>

Se firma la presente para dejar constancia de lo mencionado:

Dr. Beder Martell Espinoza  
**PRESIDENTE**

Dr. Solio Arango Retamozo  
**SECRETARIO**

Mg. Carla Mena Nevado  
**VOCAL**

\*Elaborado de manera individual.

\*\*Aprobar por Excelencia (18 a 20) / Unanimidad (15 a 17) / Mayoría (11 a 14) / Desaprobar (0 a 10).





## Acta de Sustentación del Trabajo de Investigación

Chiclayo, 09 de Julio de 2021

Siendo las 17:40 horas del día 09 del mes julio de 2021, el jurado evaluador se reunió para presenciar el acto de sustentación del Trabajo de Investigación / Tesis titulado:

**“Aplicación del Método Raise Boring para Optimizar el Proceso de Minado en los Tajos ORE BODY 2B U.M. Cerro Lindo S.A.”**, Presentado por los autores **Bach. Stephany Lizeth Ramos Díaz y Bach. Roxana Elizabeth Huado Espinoza** egresado de la Escuela Profesional Ingeniería de Minas.

Concluido el acto de exposición y defensa del Trabajo de Investigación / Tesis, el jurado luego de la deliberación sobre la sustentación, dictaminó:

Autores	Dictamen (**)
Bach. Stephany Lizeth Ramos Díaz	<b><i>Aprobar por Unanimidad</i></b>

Se firma la presente para dejar constancia de lo mencionado:

Dr. Beder Martell Espinoza  
**PRESIDENTE**

Dr. Solio Arango Retamozo  
**SECRETARIO**

Mg. Carla Mena Nevado  
**VOCAL**

\*Elaborado de manera individual.

\*\*Aprobar por Excelencia (18 a 20) / Unanimidad (15 a 17) / Mayoría (11 a 14) / Desaprobar (0 a 10).



## Autorización de Publicación en Repositorio Institucional



Nosotros, **ROXANA ELIZABETH HUADO ESPINOZA** y **STEPHANY LIZETH RAMOS DÍAZ** identificados con DNIs N° 73521519, 48000643, (respectivamente) egresadas de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA y de la Escuela Profesional de INGENIERÍA DE MINAS de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - CHICLAYO, autorizamos ( ), no autorizamos (X) la divulgación y comunicación pública de nuestra Autorización de Publicación en Repositorio Institucional : “**APLICACIÓN DEL MÉTODO RAISE BORING PARA OPTIMIZAR EL PROCESO DE MINADO EN LOS TAJOS ORE BODY 2B U.M. CERRO LINDO S.A.**”.

En el Repositorio Institucional de la Universidad César Vallejo, según lo estipulada en el Decreto Legislativo 822, Ley sobre Derecho de Autor, Art. 23 y Art. 33.

Fundamentación en caso de NO autorización:

No autorizamos la publicación de esta tesis, debido a que esta contiene información confidencial de la empresa Cerro lindo S.A y Tumi Contratistas Mineros SAC. y por consiguiente no se nos permite divulgar por cuestiones contractuales.

Chiclayo, 09 de julio del 2021

Bach. Roxana Elizabeth Huado Espinoza	
DNI: 73521519	Firma 
ORCID: 0000-0002-1664-4754	
Bach. Stephany Lizeth Ramos Díaz	
DNI: 48000643	Firma 
ORCID: 0000-0002-7803-4230	





## Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, **Dr. Beder Erasmo Martell Espinoza**, Director Nacional de la Escuela de Ingeniería de Minas de la Universidad César Vallejo – Filial Chiclayo, revisor de la tesis titulada: “**Aplicación del Método Raise Boring para Optimizar el Proceso de Minado en los Tajos ORE BODY 2B U.M. Cerro Lindo S.A.**” de los autores **Bach. Stephany Lizeth Ramos Díaz y Bach. Roxana Elizabeth Huado Espinoza**, constato que la investigación tiene un índice de similitud de **14%** verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender el trabajo de investigación / tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Chiclayo, 09 de julio del 2021

Apellidos y Nombres del Asesor: <b>Dr. Martell Espinoza, Beder Erasmo</b>	
DNI: 17831688	Firma  
ORCID: 0000-0002-4169-9212	



## Declaratoria de Originalidad del Autor/ Autores

Nosotras, **Bach. Roxana Elizabeth Huado Espinoza** y **Bach. Stephany Lizeth Ramos Díaz**, egresadas de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA y de la Escuela Profesional de INGENIERÍA DE MINAS de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC – CHICLAYO, declaramos bajo juramento que todos los datos e información que acompañan al Trabajo de Investigación / Tesis titulado:

### “APLICACIÓN DEL MÉTODO RAISE BORING PARA OPTIMIZAR EL PROCESO DE MINADO EN LOS TAJOS ORE BODY 2B U.M. CERRO LINDO S.A.”

es de nuestra autoría, por lo tanto, declaramos que el Trabajo de Investigación / Tesis:

1. No ha sido plagiado ni total, ni parcialmente.
2. Hemos mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicado ni presentado anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Chiclayo, 09 de julio del 2021

Bach. Roxana Elizabeth Huado Espinoza	
DNI: 73521519	Firma 
ORCID: 0000-0002-1664-4754	
Bach. Stephany Lizeth Ramos Díaz	
DNI:48000643	Firma 
ORCID: 0000-0002-7803-4230	