

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Análisis de la implementación del equipo Cabolt
DS421 en la mejora del sostenimiento con cable
bolting en el T770C - NV1770 - OB6 - Unidad
Minera Cerro Lindo, 2023**

Robin Walter Saltachin Ore

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero de Minas

Huancayo, 2023

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TESIS

A : Ing. Felipe Néstor Gutarra Meza
Decano de la Facultad de Ingeniería

DE : Ing. Javier Carlos Córdova Blancas
Asesor de tesis

ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de tesis

FECHA : 14 de Diciembre de 2023

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para saludarlo y en vista de haber sido designado asesor de la tesis titulada: "ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL EQUIPO CABOLT DS421 EN LA MEJORA DEL SOSTENIMIENTO CON CABLE BOLTING EN EL T770C – NV1770 – OB6 – UNIDAD MINERA CERRO LINDO, 2023", perteneciente al estudiante ROBIN WALTER SALTACHIN ORE, de la E.A.P. de Ingeniería de Minas; se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 19 % de similitud (informe adjunto) sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores (Nº de palabras excluidas: 10) SI NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI NO

En consecuencia, se determina que la tesis constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad.

Recae toda responsabilidad del contenido de la tesis sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios de legalidad, presunción de veracidad y simplicidad, expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales – RENATI y en la Directiva 003-2016-R/UC.

Esperando la atención a la presente, me despido sin otro particular y sea propicia la ocasión para renovar las muestras de mi especial consideración.

Atentamente,




Ing. Javier Carlos Córdova Blancas
Asesor de tesis

Cc.
Facultad
Oficina de Grados y Títulos
Interesado(a)

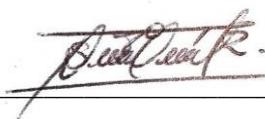
DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD

Yo, Saltachin Ore Robin Walter, identificado(a) con Documento Nacional de Identidad No. 70187964, de la E.A.P. de Ingeniería de Minas de la Facultad de Ingeniería la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

1. La tesis titulada: "ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL EQUIPO CABOLT DS421 EN LA MEJORA DEL SOSTENIMIENTO CON CABLE BOLTING EN EL T770C – NV1770 – OB6 – UNIDAD MINERA CERRO LINDO, 2023", es de mi autoría, la misma que presento para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas, por lo que no atenta contra derechos de terceros.
3. La tesis es original e inédita, y no ha sido realizado, desarrollado o publicado, parcial ni totalmente, por terceras personas naturales o jurídicas. No incurre en autoplagio; es decir, no fue publicado ni presentado de manera previa para conseguir algún grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, pues no son falsos, duplicados, ni copiados, por consiguiente, constituyen un aporte significativo para la realidad estudiada.

De identificarse fraude, falsificación de datos, plagio, información sin cita de autores, uso ilegal de información ajena, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a las acciones legales pertinentes.

17 de DICIEMBRE de 2023.



Saltachin Ore Robin Walter

DNI. No. 70187964

ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL EQUIPO CABOLT DS421 EN LA MEJORA DEL SOSTENIMIENTO CON CABLE BOLTING EN EL T770C – NV1770 – OB6 – UNIDAD MINERA CERRO LINDO, 2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

19%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

11%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	9%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	4%
3	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	3%
4	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.undac.edu.pe Fuente de Internet	<1%
6	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1%

9

Adalberto Viana Rodrigues, Saulo Roca Bragança. "An evaluation of the increased expansion of clay aggregates fired at 1300 °C to maximize lightness for non-structural concrete", Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio, 2021

Publicación

<1 %

10

www.expominmexico.com.mx

Fuente de Internet

<1 %

11

alicia.concytec.gob.pe

Fuente de Internet

<1 %

12

Submitted to unsaac

Trabajo del estudiante

<1 %

13

Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga

Trabajo del estudiante

<1 %

14

repositorioacademico.upc.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

15

tesis.pucp.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 10 words

Excluir bibliografía

Activo

ASESOR

Ing. Javier Córdova Blancas

AGRADECIMIENTO

A Dios, por brindarme tranquilidad y claridad ante las adversidades de la vida. Asimismo, agradezco a la empresa NEXA por el apoyo brindado, así como a los docentes de la EAP Minas de la Universidad Continental por el soporte académico y profesional que me brindaron durante mi formación universitaria. Finalmente, un agradecimiento especial a mi asesor Ing. Javier Córdova Blancas, por el apoyo constante en el desarrollo del presente trabajo.

DEDICATORIA

En primer lugar, a Dios por estar presente en todo momento de mi vida; a mis padres por ser el motivo de mi diario vivir y por brindarme su apoyo incondicional durante mi formación profesional y personal.

ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA	I
ASESOR	II
AGRADECIMIENTO	III
DEDICATORIA	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO	V
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
RESUMEN	XI
ABSTRACT	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	16
1.1. Planteamiento y formulación del problema	16
1.1.1. Planteamiento del problema	16
1.1.2. Formulación del problema	17
1.2. Objetivos	17
1.2.1. Objetivo general	17
1.2.2. Objetivos específicos	18
1.3. Justificación e importancia	18
1.3.1. Justificación social - práctica	18
1.3.2. Justificación académica	19
1.4. Hipótesis de la investigación	19
1.4.1. Hipótesis general	19
1.4.2. Hipótesis específicas	19
1.5. Identificación de las variables	20
1.5.1. Variable independiente	20
1.5.2. Variables dependiente	20
1.5.3. Matriz de operacionalización de variables	20
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	21
2.1 Antecedentes del problema	21
2.1.1 Antecedentes internacionales	21

2.1.2	Antecedentes nacionales	22
2.2	Generalidades de la unidad minera	22
2.2.1	Ubicación de la unidad minera Cerro Lindo	22
2.2.2	Accesibilidad a la unidad minera cerro lindo	24
2.3	Geología regional	24
2.3.1	Estratigrafía	25
2.3.2	Geología local	27
2.3.3	Geología económica	27
2.3.4	Consideraciones geomecánicas	27
2.3.5	Ciclo de minado	30
2.4	Bases teóricas del estudio	33
2.4.1	Consideraciones generales del estudio	33
2.4.2	Especificaciones técnicas de equipo cabolt ds421	37
2.4.3	Consideraciones operacionales de sostenimiento con cable bolting	39
2.4.4	Estándar de sostenimiento de cable bolting	41
2.4.5	Consideraciones de sostenimiento con cable bolting	44
	CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	47
2.1	Método y alcances de la investigación	47
2.1.1	Método de la investigación	47
2.1.2	Alcances de la investigación	48
2.2	Diseño de la investigación	48
2.3	Población y muestra	48
2.3.1	Población	48
2.3.2	Muestra	49
2.4	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	49
2.4.1	Técnicas utilizadas en la recolección de datos	49
2.4.2	Instrumentos utilizados en la recolección de datos	49
	CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	50
2.5	Características de operación inicial	50
2.6	Análisis de los metros perforados	54
2.7	Análisis de los metros cableados e inyectados	58
2.8	Análisis de las actividades en cable bolting	60

2.9 Análisis económico de cable bolting -----	69
2.10 Análisis de validación de la hipótesis-----	72
CONCLUSIONES -----	78
RECOMENDACIONES -----	81
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS -----	82
ANEXOS-----	83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla de matriz de operacionalización de variables	20
Tabla 2. Acceso a la UM Cerro Lindo.....	24
Tabla 3. Características geomecánicas, UM Cerro Lindo.....	30
Tabla 4. Parámetros de cable bolting, en el OB5 – OB6	34
Tabla 5. Parámetros de cable bolting, contacto en el OB5 – OB6.....	36
Tabla 6. Metros perforados, cableados e inyectados, Nv 1770	53
Tabla 7. Metros perforados, con equipos Cabolt, Raptor y Simba, Nv 1770.....	54
Tabla 8. Metros perforados, con equipos Cabolt y Raptor, Nv 1770.....	55
Tabla 9. Resumen de metros perforados y su nivel de cumplimiento, Nv 1770.....	56
Tabla 10. Metros cableados e inyectados, Nv 1770	58
Tabla 11. Metros cableados e inyectados, Nv 1770	59
Tabla 12. Diagrama de Pareto – equipo Cabolt, Nv 1770	61
Tabla 13. Resumen de actividades – equipo Cabolt, Nv 1770	62
Tabla 14. Diagrama de Pareto – equipo Raptor, Nv 1770	64
Tabla 15. Resumen de actividades – equipo Raptor, Nv 1770.....	65
Tabla 16. Diagrama de Pareto – bomba Putzmeister, Nv 1770.....	67
Tabla 17. Resumen de actividades – bomba Putzmeister, Nv 1770.....	68
Tabla 18. Costo de metros perdidos – equipo Cabolt, Nv 1770.....	70
Tabla 19. Costo de metros perdidos – equipo Raptor, Nv 1770	71
Tabla 20. Costo de metros perdidos – bomba Putzmeister, Nv 1770	72
Tabla 21. Análisis comparativo de metros perforados, equipo Cabolt y Raptor	73
Tabla 22. Comparativo de tiempo y metros perforados en Cabolt, Raptor y Bomba Putzmeister.....	75
Tabla 23. Comparativo de costo por equipos, Cabolt, Raptor y Bomba Putzmeister	76
Tabla 24. Comparativo de costo por escenario: Cabolt y Raptor - Bomba Putzmeister	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la UM Cerro Lindo.....	23
Figura 2. Geología regional de la UM Cerro Lindo	25
Figura 3. Estratigrafía de la UM Cerro Lindo	26
Figura 4. Zonificación geomecánica de mina Cerro Lindo	28
Figura 5. Zonificación geomecánica 3d de la mina Cerro Lindo.	29
Figura 6. Ciclo de minado en la mina Cerro Lindo.....	31
Figura 7. Organigrama de la gerencia de minería, mina Cerro Lindo.	32
Figura 8. Esquema de diseño de Cable Bolting en el techo de tajeos, OB5 – OB6.....	35
Figura 9. Esquema de diseño de cable bolting, zona contacto en caja techo	36
Figura 10. Especificaciones	37
Figura 11. Reporte de operación de cable bolting 03-12-22	39
Figura 12. Reporte de operación de cable bolting, 04-12-22	40
Figura 13. Estándar de sostenimiento cable bolting en X – 7.5 m	42
Figura 14. Estándar de sostenimiento cable bolting en X – 4.5 m	43
Figura 15. Estándar de sostenimiento cable bolting en T – 7.5 m	43
Figura 16. Estándar de sostenimiento cable bolting en T – 4.5 m	44
Figura 17. Metros perforados, con equipos Raptor, Simba y Cabolt.....	45
Figura 18. Cableado e inyectado en cable bolting	46
Figura 19. Esquema de diseño de cable bolting, Nv 1770.....	51
Figura 20. Isovalores de RMR asociado al Nv 1770.....	52
Figura 21. Relación metros programados y ejecutados, equipo Cabolt	56
Figura 22. Relación metros programados y ejecutados, equipo Raptor	57
Figura 23. Resumen de metros perforados en los equipos Cabolt y Raptor	57
Figura 24. Relación de metros cableados e inyectados	59
Figura 25. Evolución de metros cableados e inyectados, Nv 1770.....	60
Figura 26. Diagrama de Pareto, equipo Cabolt, periodo enero a julio, Nv 1770.....	61
Figura 27. Resumen de actividades, equipo Cabolt, Nv 1770	62

Figura 28. Relación tiempo, metros perdidos en equipo Cabolt, 1770	Nv 63
Figura 29. Diagrama de Pareto, equipo Raptor, periodo enero a julio, Nv 1770 ...	64
Figura 30. Resumen de actividades, equipo Raptor, Nv 1770	65
Figura 31. Relación tiempo, metros perdidos en equipo Raptor, Nv 1770	66
Figura 32. Diagrama de Pareto, bomba Putzmeister, periodo enero a julio, Nv 1770	67
Figura 33. Resumen de actividades, bomba Putzmeister, Nv 1770	68
Figura 34. Relación tiempo, metros perdidos en bomba Putzmeister Nv 1770	68
Figura 35. Costo por metro perdido, equipo Cabolt	70
Figura 36. Costo por metro perdido, equipo Raptor	71
Figura 37. Costo por metro perdido, bomba Putzmeister	72
Figura 38. Comparativo de metros perforados Cabolt y Raptor	73
Figura 39. Comparativo de tiempo y metros perdidos	75
Figura 40. Comparativo de costo, equipo Cabolt y Raptor, Nv 1770	76

RESUMEN

El presente trabajo de investigación titulado: “Análisis de la implementación del equipo cabolt ds421 en la mejora del sostenimiento con cable bolting en el T770C – NV1770 – OB6 – unidad minera Cerro Lindo, 2023” permite entender el comportamiento del uso de cable bolting y su influencia en realizar un sostenimiento adecuado y oportuno, alcanzando estabilidad en el macizo rocoso y brindando condiciones de seguridad óptima en la unidad minera.

El método general aplicado en el presente trabajo es el inductivo y deductivo, ya que a partir de la observación de los parámetros operacionales asociados al sostenimiento con cable bolting mediante la aplicación del equipo Cabolt DS421 ayudará a entender el comportamiento del sostenimiento en las diferentes labores del Nv 1770.

El análisis del presente trabajo se realizó durante los periodos de enero a julio, considerando los metros perforados, cableados e inyectados con equipos Cabolt y Raptor – bomba Putzmeister, para luego realizar el análisis de la pérdida de tiempo operacional considerando las diferentes actividades asociadas al sostenimiento con cable bolting y su costo asociado.

Los metros perforados entre los equipos Cabolt DS421 y Raptor fueron de 3,521 y 5,485 metros respectivamente, considerando mayores metros perforados en 1,964 metros en equipos Raptor.

El análisis de pérdida de tiempo en los equipos Cabolt indica una pérdida de 58.50 horas y en el equipo Raptor, 34.25 horas, considerando una pérdida de metros perforados en 1,755 metros y 1,028 metros respectivamente. Las actividades principales que afectan la pérdida de tiempo operacional han sido relacionadas a falla mecánica, equipo inoperativo, falta de energía/caída de tensión, entre otros.

El análisis económico para los equipos Cabolt, considerando la pérdida de tiempo y déficit de metros perforados, genera un incremento de costos en 26,051 \$ y para los equipos Raptor – bomba Putzmeister, considera un incremento de costos en 23,491 \$ para los periodos enero a julio.

Palabras clave: cable bolting, raptor, bomba putzmeister, metros perforados, cableado e inyectado, costos, rendimiento, Pareto, etc.

ABSTRACT

The present work carried out, whose title is “Analysis of the implementation of the cabolt ds421 equipment in the improvement of sustanation with cable bolting in the T770C – NV1770 – OB6 – Cerro Llndo mining unit, 2023”, allows us to understand the behavior of the use of cable bolting and its influence in carrying out adequate and timely support, achieving stability in the rock mass and providing optimal safety conditions in the mining unit.

The general method applied in this work is inductive and deductive, since from the observation of the operational parameters associated with cable bolting support through the application of the Cabolt DS421 equipment it will help to understand the behavior of support in the different tasks of the Lv 1770.

The analysis of this work was carried out during the periods from January to July, considering the meters drilled, wired and injected with Cabolt and Raptor equipment - Putzmeister pump, to then carry out the analysis of the loss of operational time considering the different activities associated with sustanment. with cable bolting and its associated cost.

The meters drilled between the Cabolt DS421 and Raptor rigs were 3,521 and 5,485 meters respectively, considering greater meters drilled at 1,964 meters in Raptor rigs.

The analysis of time loss in the Cabolt equipment considers a loss of 58.50 hours and in the Raptor equipment it was 34.25 hours, considering a loss of drilled meters of 1,755 meters and 1,028 meters respectively. The main activities that affect the loss of operational time have been related to mechanical failure, inoperative equipment, lack of energy/voltage drop, among others.

The economic analysis for the Cabolt equipment, considering the loss of time and deficit of drilled meters, generates an increase in costs of 26,051 US\$ and for the

Raptor equipment - Putzmeister pump, considers an increase in costs of 23,491 US\$, for the periods January to July.

Keywords: cable bolting, raptor, putzmeister pump, drilled meters, wiring and injection, costs, performance, Pareto, etc.

INTRODUCCIÓN

El uso de cable bolting en la industria minera se viene masificando en diferentes operaciones mineras, generando un sostenimiento adecuado y oportuno, alcanzando estabilidad en el macizo rocoso y brindando condiciones de seguridad óptima en las operaciones mineras.

El procedimiento tradicional de instalación de cable bolting es mediante la perforación con el equipo Raptor XP55, luego el cableado e inyectado se realiza con un manipulador telescópico y bomba Putzmeister. Actualmente, la unidad minera cuenta con equipos automatizados como Cabolt DS421, el que optimiza los metros perforados, cableados e inyectados, optimizando el proceso de sostenimiento.

Por tal motivo, el presente trabajo de investigación permite realizar el análisis de la implementación del equipo Cabolt DS421 y será comparado con los equipos Raptor – bomba Putzmeister, analizando los metros perforados, cableados e inyectados, para luego analizar la pérdida de tiempo y pérdida de metros perforados de acuerdo con las diferentes actividades asociadas a este proceso unitario, considerando finalmente su influencia económica en la instalación de cable bolting.

El presente trabajo se desarrolló en cuatro capítulos. El Capítulo I considera el tema de forma, describiendo el problema, objetivo e hipótesis general y específicos, así como la identificación de variables dependientes e independientes. En el Capítulo II se detalla el marco teórico, describiendo los antecedentes, las generalidades de la unidad minera y bases teóricas del estudio. El Capítulo III describe la metodología de investigación, considerando el diseño de investigación, población y muestra y técnicas utilizadas. Finalmente, en el Capítulo IV se analiza e interpreta los resultados del trabajo de investigación.

Los autores

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Planteamiento del problema

Uno de los grandes problemas en minería subterránea es manejar condiciones de estabilidad óptimas en labores de avance en niveles de profundización, por lo que, es imprescindible el sostenimiento que genere las condiciones adecuadas de operación y seguridad mediante el uso de tecnología moderna como es el caso de cable bolting.

El uso de cable bolting en la industria minera se viene masificando en diferentes operaciones mineras, generando un sostenimiento adecuado y oportuno, alcanzando estabilidad en el macizo rocoso y brindando condiciones de seguridad óptima en las operaciones mineras.

La unidad minera Cerro Lindo aplica el cable bolting como parte de un sistema de control del macizo rocoso y prevención de caída de rocas orientado al diseño de sostenimiento para mejorar la estabilidad de labores mineras. El procedimiento de instalación de cable bolting se realiza de la siguiente manera: se perfora con el equipo Raptor XP55, el cableado e inyectado se realiza con un manipulador telescópico y bomba Putzmeister en el que se presenta los riesgos críticos de “trabajos en altura”, exposición a sustancias químicas y riesgos críticos de equipos

móviles, esta actividad necesita de cinco colaboradores, de los cuales cuatro están expuestos.

El presente trabajo de investigación permitirá el análisis de la implementación del equipo Cabolt DS421 para el sostenimiento con cable bolting, realizando mejoras en la producción y reduciendo los riesgos críticos, mejorando en seguridad al ingresar con señalización y abordaje, así como el uso del equipo automatizado para la perforación e inyección de cemento con el equipo Cabolt DS421.

1.1.2. Formulación del problema

- **Problema general**

¿Cómo mejorar el sostenimiento con cable bolting mediante el análisis de la implementación del equipo Cabolt DS421 en el T770C – NV1770 – OB6 en la unidad minera Cerro Lindo - 2023?

- **Problemas específicos**

a) ¿Cómo influye los metros perforados, cableados e inyectados mediante el uso de los equipos Cabolt DS421 y Raptor – bomba Putzmeister en el sostenimiento con cable bolting en el Nv 1770 de la unidad minera Cerro Lindo – 2023?

b) ¿Cómo influye la pérdida de tiempo operacional en los equipos Cabolt y Raptor mediante el análisis de actividades en el sostenimiento con cable bolting en el Nv 1770 de la unidad minera Cerro Lindo – 2023?

c) ¿Cómo influye los metros perdidos con los costos asociados a los equipos Cabolt y Raptor – bomba Putzmeister en el sostenimiento con cable bolting en el Nv 1770 de la unidad minera Cerro Lindo – 2023?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Mejorar el sostenimiento con cable bolting mediante el análisis de la implementación del equipo Cabolt DS421 en el T770C – NV1770 – OB6 en la unidad minera Cerro Lindo – 2023.

1.2.2. Objetivos específicos

- a) Determinar la influencia de los metros perforados, cableados e inyectados mediante el uso de los equipos Cabolt DS421 y Raptor – bomba Putzmeister en el sostenimiento con cable bolting en el Nv 1770 de la unidad minera Cerro Lindo – 2023.

- b) Determinar la influencia de la pérdida de tiempo operacional en los equipos Cabolt y Raptor mediante el análisis de actividades en el sostenimiento con cable bolting en el Nv 1770 de la unidad minera Cerro Lindo – 2023.

- c) Determinar la influencia de los metros perdidos con los costos asociados a los equipos Cabolt y Raptor – bomba Putzmeister en el sostenimiento con cable bolting en el Nv 1770 de la unidad minera Cerro Lindo – 2023.

1.3. Justificación e importancia

El uso de cable bolting en la industria minera subterránea permite un mejor sostenimiento de las diferentes áreas disturbadas en la unidad minera. Así mismo, la mejora continua de este tipo de sostenimiento ayuda a mejorar el tiempo de fraguado, condicionado a obtener una buena resistencia y poder continuar con las diferentes operaciones unitarias mejorando así el cumplimiento de los planes de minado. El uso y automatización del cable bolting, mediante los equipos Cabolt DS421, ayuda en forma importante los procesos unitarios asociados al sostenimiento y su mejora en la reducción de tiempos en los metros perforados, los metros inyectados y su óptima resistencia de soporte.

1.3.1. Justificación social - práctica

La implementación del equipo Cabolt DS421 para el sostenimiento con cable bolting, considerando las mejoras en la producción y reduciendo los riesgos críticos, mejora la seguridad al ingresar con señalización y abordaje. Así como el uso del equipo automatizado para la perforación e inyección de cemento con el equipo Cabolt DS421 permitirá mejores condiciones de operación de los trabajadores. Así mismo, el resultado generado en el presente trabajo de investigación ayudará a la

mejora del conocimiento del trabajador mediante capacitaciones en el uso de los equipos Cabolt DS421, ya que gran parte de la dotación es por parte de las comunidades aledañas al proyecto minero.

1.3.2. Justificación académica

El uso de equipos Cabolt DS421 para la instalación de cable bolting ayudará como herramienta bibliográfica a los docentes, estudiantes y público en general para realizar estudios comparativos en trabajos similares. El uso del equipo Cabolt DS421 permite ver la evolución de la tecnología durante el tiempo y su diversa aplicabilidad en el proceso unitario de sostenimiento.

1.4. Hipótesis de la investigación

1.4.1. Hipótesis general

El análisis de la implementación del equipo Cabolt DS421 permite la mejora en el sostenimiento con cable bolting en el T770C – NV1770 – OB6 en la unidad minera Cerro Lindo – 2023.

1.4.2. Hipótesis específicas

- a) Al determinar la influencia de los metros perforados, cableados e inyectados mediante el uso de los equipos Cabolt DS421 y Raptor – bomba Putzmeister influye en el sostenimiento con cable bolting en el Nv 1770 de la unidad minera Cerro Lindo – 2023.

- b) Al determinar la influencia de la pérdida de tiempo operacional en los equipos Cabolt y Raptor mediante el análisis de actividades influye en el sostenimiento con cable bolting en el Nv 1770 de la unidad minera Cerro Lindo – 2023.

- c) Al determinar la influencia de los metros perdidos con los costos asociados a los equipos Cabolt y Raptor – bomba Putzmeister influye en el sostenimiento con cable bolting en el Nv 1770 de la unidad minera Cerro Lindo – 2023.

1.5. Identificación de las variables

1.5.1. Variable independiente

Aplicación de cable bolting con equipo Cabolt DS421

1.5.2. Variables dependiente

Análisis de los metros perforados, cableados e inyectados, pérdida de tiempo operacional, actividades y costos asociados al sostenimiento con cable bolting en el Nv 1770.

1.5.3. Matriz de operacionalización de variables

Tabla 1. Tabla de matriz de operacionalización de variables

Variables	Definición Conceptual	Definición operacional		
		Dimensiones	Subdimensiones	Indicadores
VI: Aplicación de cable bolting con equipo Cabolt DS421	El uso de equipos automatizados como el Cabolt DS421 permite la reducción de tiempo de instalación de cable bolting, mejora la seguridad y reduce costos de operación.	<ul style="list-style-type: none"> • Condiciones Geológicas • Condiciones geomecánicas • Condiciones de Operación 	Variables geológicas Variables geomecánicas Indicadores de operación	Litología, intensidad de alteración, leyes, etc. RQD, RMR, GSI, etc. del macizo rocoso. Metros perforados, cableados e inyectados.
VD: Análisis de los metros perforados, cableados e inyectados, pérdida de tiempo operacional, actividades y costos asociados al sostenimiento con cable bolting.	Al analizar los metros perforados, cableados e inyectados con cable bolting, permitirá definir el rendimiento de los equipos Cabolt y Raptor.	<ul style="list-style-type: none"> • Parámetros operacionales en equipos Cabolt y Raptor. • Parámetros económicos. 	Cumplimiento de instalación de cable bolting en el Nv 17170. Rendimiento de equipos Cabolt, Raptor y bomba Putzmeister.	Producción, tiempo de acarreo, actividades unitarias de acarreo, etc. Costos asociados a los metros perdidos en equipos Cabolt, Raptor y bomba Putzmeister.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del problema

2.1.1 Antecedentes internacionales

- Investigación titulada: “*The shear performance of cable bolts in experimental, numerical and mathematical studies*”. El estudio tiene por finalidad determinar el comportamiento al corte de pernos para cables. Actualmente el desarrollo de la tecnología permite el uso de aditivos como la resina, en remplazo de la lechada en diversos tipos de dominios geomecánicos, nos ayuda a entender este tipo de sostenimiento considerando diversos tipos de cargas, considerando los diferentes comportamientos de la roca asociado a su deformación (1).

- Trabajo de investigación titulado: “*Study of cable bolt shear strength characteristics for ground reinforcement in mines*”. En el estudio se sostiene que, una vez realizado la excavación, se genera la redistribución de los esfuerzos y se van generando el fracturamiento de la roca. Se propuso un modelo analítico y se comparó con los resultados de la prueba de doble corte. Se realizaron investigaciones paramétricas sobre cuatro factores que influyen, entre estos se tiene: pretensión del cable, coeficiente de fricción de la junta, resistencia del hormigón e instalación del cable ángulo (2).

2.1.2 Antecedentes nacionales

- Tesis de grado titulada: “*Geomecanica Aplicada en la prevención de Perdida por Caída de rocas Mina Huanzala - Cia Minera Santa Luisa S.A*”. El objetivo de la investigación fue realizar un estudio geomecánico de detalle con la finalidad de la reducción de accidentes producto de la inestabilidad e inadecuada instalación de sostenimiento, así como el cumplimiento adecuado de los programas de desarrollo, preparación y explotación. Se analizó el tipo de sostenimiento como: cable bolting, pernos de anclaje, *shotcrete* vía húmeda y seca, etc. El estudio, permite realizar un análisis del sistema de gestión de seguridad, considerando que una de las causas en accidentes son los desprendimientos de rocas (3).
- Tesis titulada: “*Estudio geomecanico para el dimensionamiento, secuencia y relleno de los tajeos de la MINA Cerro Lindo*”, cuyo objetivo fue analizar cuantitativa y cualitativamente los parámetros operacionales, como geología, geomecánica, hidrogeología, etc. para considerar las condiciones del ciclo de minado en la unidad minera. Los resultados obtenidos estuvieron asociados a estudios de escala de laboratorio para determinar el diseño operacional del método de minado sublevel stoping (4).
- Investigación titulada: “*Aplicación de cable bolting como reforzamiento del sostenimiento para poder estabilizar al macizo rocoso, en la unidad de producción Carahuacra – Compañía Minera Volcán S.A.A.*”. El objetivo fue realizar diversos estudios considerando la aplicación de reforzamiento del macizo rocoso con cable bolting, durante el periodo 2018. Dichas aplicaciones se complementaron con el uso de lechada de cemento y analizando su resistencia asociada con estudios de Pull test, de acuerdo con el método de minado aplicado como es el sublevel stoping con taladros largo, logrando mejorar la estabilidad del macizo rocoso (5).

2.2 Generalidades de la unidad minera

2.2.1 Ubicación de la unidad minera Cerro Lindo

La unidad minera se ubica en el distrito de Chavín, provincia de Chincha, departamento de Ica, ubicados en la comunidad de Chavin.

La unidad minera se ubica a 255 kilómetros al SE de Lima, a una altura promedio de 1830 m s. n. m., con coordenadas UTM (WGS 84):

8 554165 N

392780 E



**Figura 1. Ubicación de la UM Cerro Lindo
Tomada del Departamento de Geología**

2.2.2 Accesibilidad a la unidad minera cerro lindo

Se accede a la unidad minera por el siguiente tramo:

El acceso principal desde la ciudad de Lima hasta el sector Jahuay, por la Panamericana Sur (vía asfaltada) con una distancia de 184 kilómetros, desviándose desde el sector Jahuay hasta la mina (carretera afirmada) con una distancia de 61 kilómetros.

Tabla 2. Acceso a la UM Cerro Lindo

RUTA	DISTANC.	TIPO DE VIA
Lima – desvío Jahuay	185 kilómetros	Vía Asfaltada
Desvío jahuay a mina	61 kilómetros	Vía Afirmada

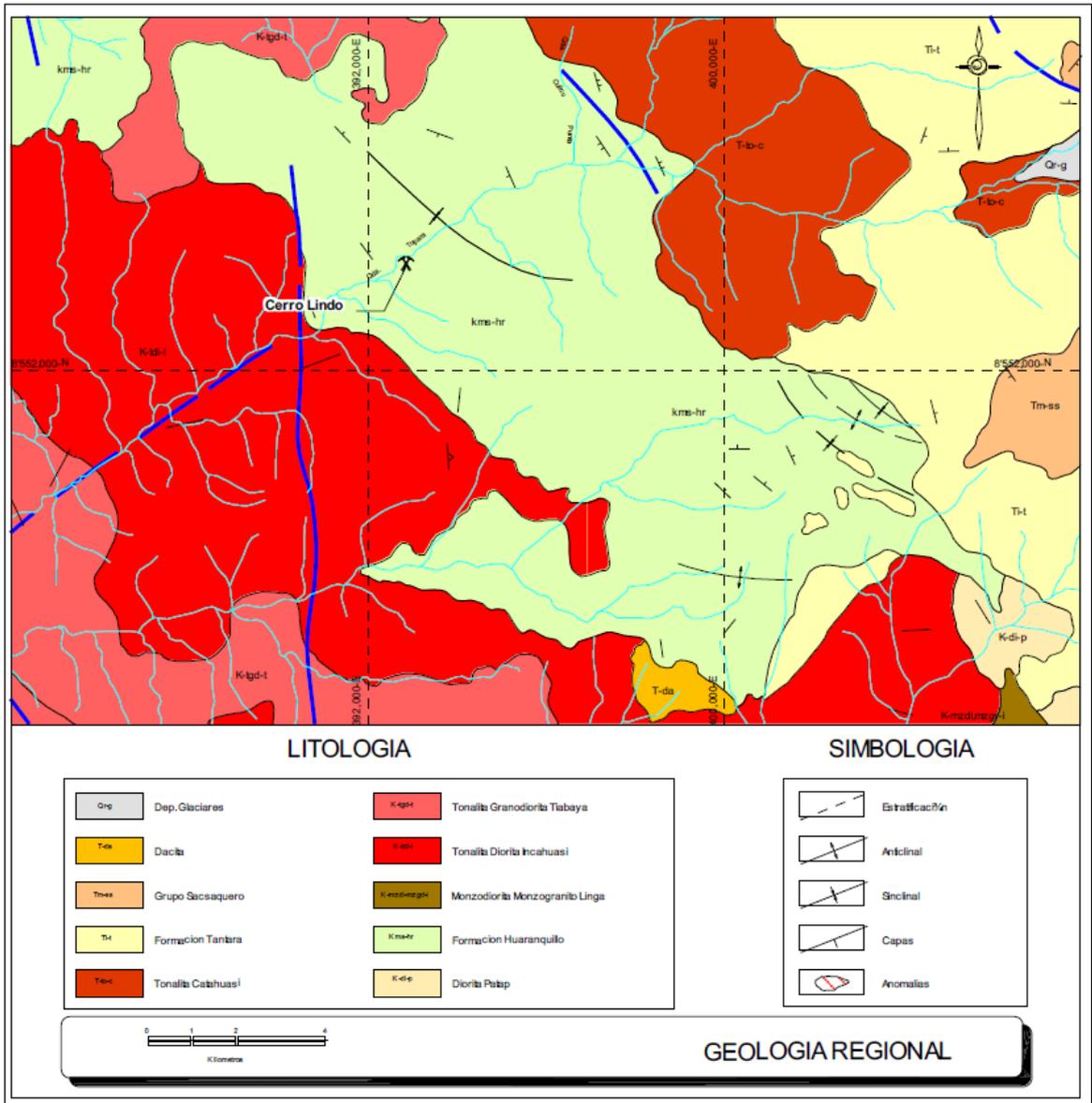
Tomada del Área de Geología

2.3 Geología regional

La unidad minera se emplaza en rocas volcano sedimentarias de la formación Huaranguillo, considerado con una edad del Cretáceo medio, el cual se deposita sobre intrusivos (batolito de la costa), considerada como un roof pendant, compuesta por granitos, granodioritas, dioritas y gabrodioritas.

Las rocas volcánicas han sido metamorfizadas, los cuales estratigráficamente se ubican en el nivel inferior compuesta por riolitas y riodacitas, en los niveles intermedio se ubican rocas volcánicas tipo andesitas y en los niveles superiores se ubican rocas volcano sedimentarias con intercalación de andesitas, limonitas y calizas y rocas sedimentarias compuestas de calizas, lutitas calcáreas y limonitas.

La potencia asociada al ambiente volcano sedimentaria de 2250 metros, con direcciones NW a SE. Los lineamientos estructurales consideran rumbos NW a SE.



**Figura 2. Geología regional de la UM Cerro Lindo
Tomada del Área de Geología**

2.3.1 Estratigrafía

La estratigrafía asociada a un ambiente volcánico sedimentario e intrusivos del batolito de la costa considera la siguiente serie estratigráfica: formación Huaranguillo (cretáceo medio), formación Tantará, grupo Sacsaquero y rocas intrusivas relacionados a edades del Cretáceo y del terciario.

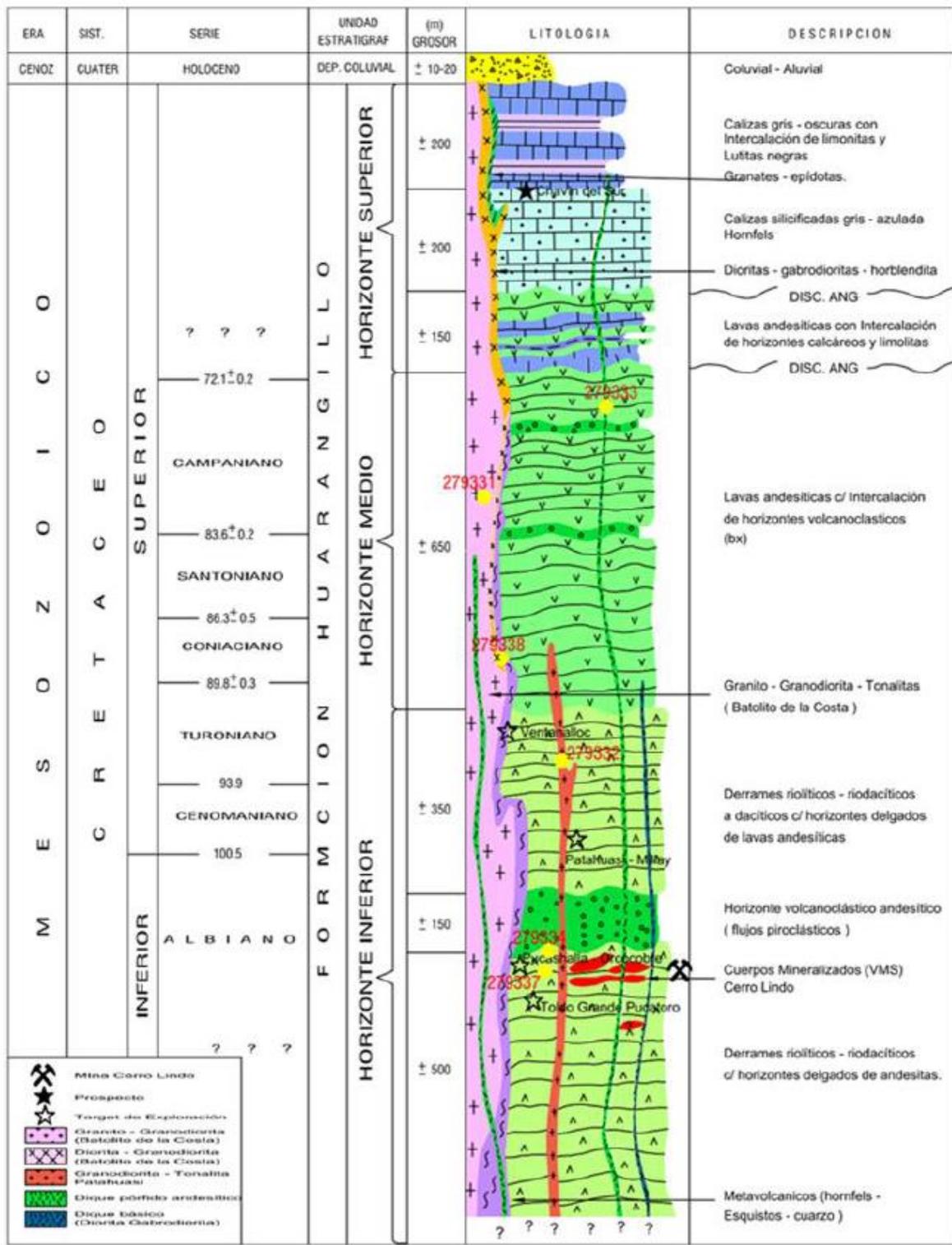


Figura 3. Estratigrafía de la UM Cerro Lindo Tomada del Área de Geología

2.3.2 Geología local

La geología local en el área de estudio está compuesta por rocas volcánicas félsicas, compuestas por riolitas con una gradación a riodacitas, ubicadas en la caja piso y techo de las estructuras mineralizadas presentes.

El rumbo de las rocas volcánicas es de NW a SE y con buzamientos NE a SW. Observándose el contacto de rocas del batolito de la costa con las unidades volcano sedimentarias.

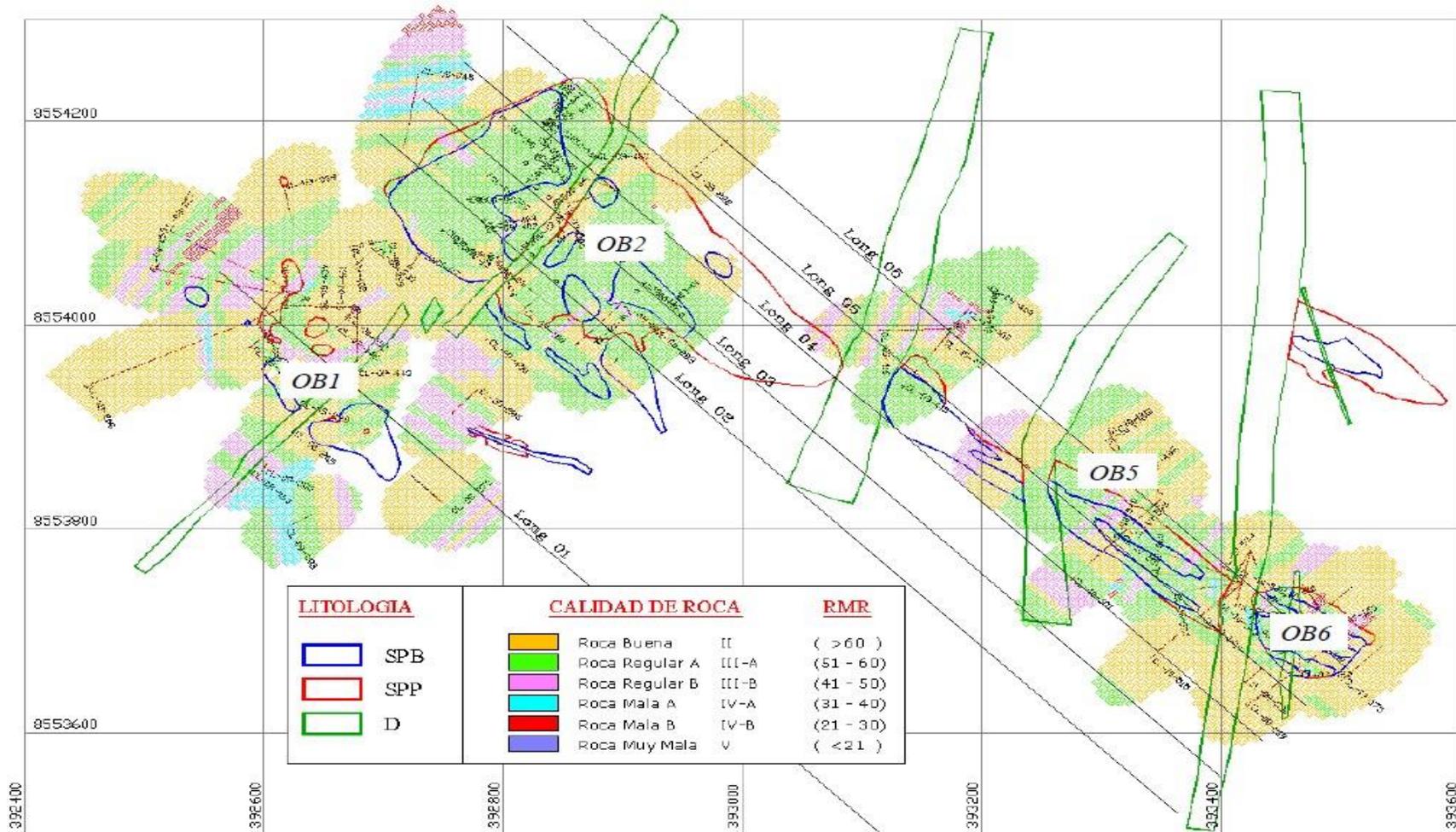
2.3.3 Geología económica

El yacimiento Cerro Lindo es considerado como un VMS (sulfuro masivo). Se observa estructuras mineralizadas de orientación NW, con buzamientos de 65° SW. El área mineralizada considera una longitud de 1350 metros, ancho de 83 metros y de 245 metros de profundidad aproximadamente.

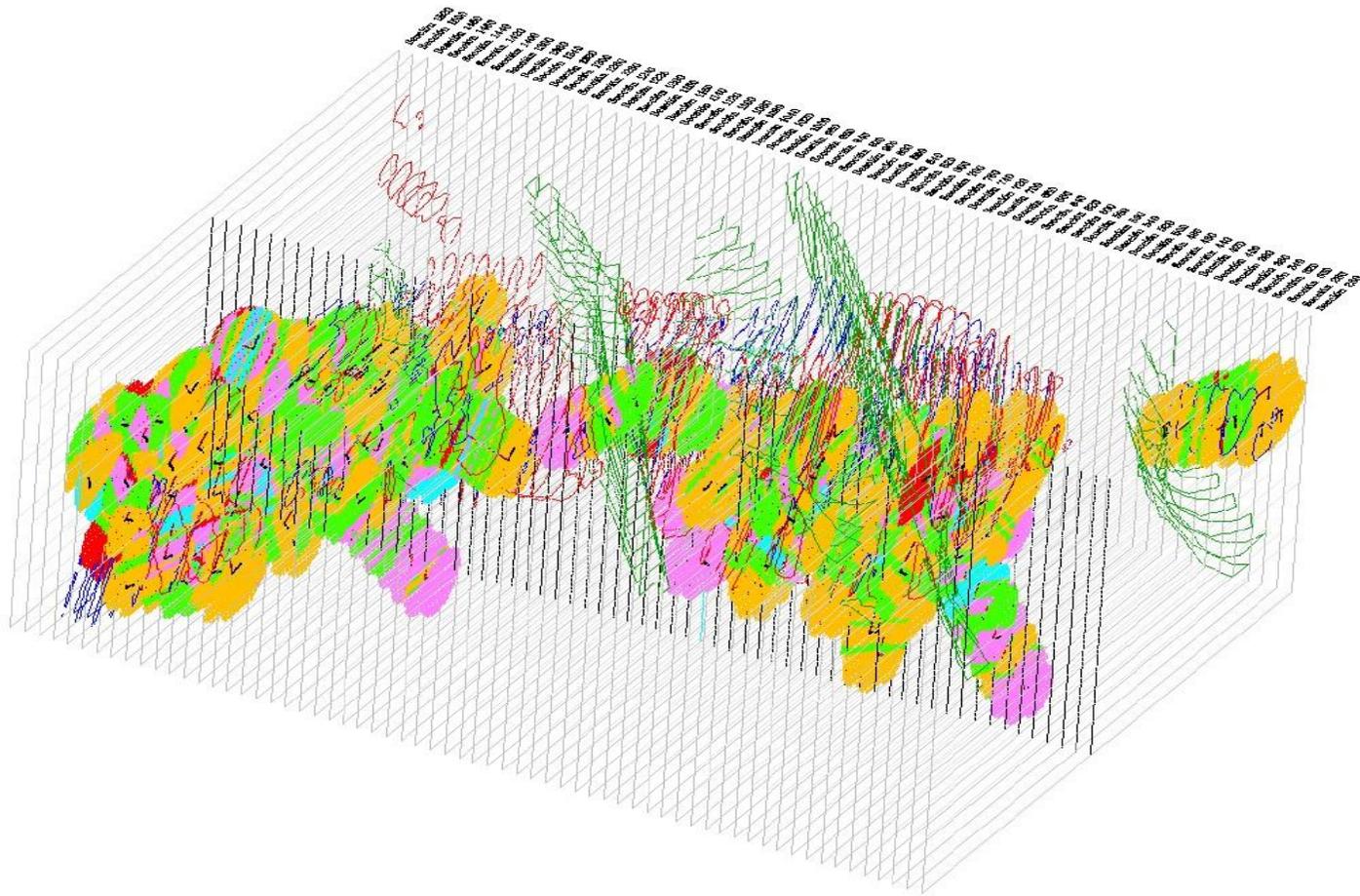
La mineralización presente está compuesta por sulfuros de Zn-Pb, Cu-Pb y presencia importante de pirita, emplazados en cuerpos masivos y semi masivos de los que consideran leyes de Zn@2.61 %, Pb@0.28 %, Cu@0.84 % y Ag@0.82 Oz.

2.3.4 Consideraciones geomecánicas

Los parámetros geomecánicos en las estructuras mineralizadas considera un RMR promedio de 50, un GSI de 50, un RQD entre 46 a 58, una resistencia a la compresión de 55 Mpa en promedio y una densidad de 4.5 t/m³. Asimismo, los parámetros en el ambiente volcánico (contacto y distal a la estructura) considera un RMR entre 46 a 53, un GSI de 46 a 53, un RQD de 60 a 65, una resistencia a la compresión simple de 80 a 120 Mpa y una densidad de 2.6 t/m³.



**Figura 4. Zonificación geomecánica de mina Cerro Lindo
Tomada del Área de Geomecánica**



**Figura 5. Zonificación geomecánica 3d de la mina Cerro Lindo.
Tomada del Área de Geomecánica**

Las características geomecánicas de la estructura mineralizada y roca caja considera los siguientes valores:

Tabla 3. Características geomecánicas, UM Cerro Lindo

Zona	Ubicación	Rango RMR	Litología	Promedio RMR	Dominio
1	OB2	56 – 65	Mineral	57	DE-III A
			Volcánico	60	DE-III A
2	OB5	49 – 67	Mineral	56	DE-III A
			Volcánico	60	DE-III A
			Dique	50	DE-III B
3	OB7	65 – 66	Mineral	58	DE-III A
			Volcánico	62	DE-II
4	BP-745	48 – 64	Mineral	57	DE-III A
			Volcánico	58	DE-III A

Tomada del Área de Geomecánica

De acuerdo con los estudios realizados en los diferentes cuerpos mineralizados, se observa en la zona 1, cuerpo OB2 con un rango de RMR entre 56 a 65 (mineral 57 y volcánico 60) y un dominio IIIA, en la zona 2, cuerpo OB5 con un rango de RMR entre 49 a 67 (mineral 56, volcánico 60 y dique 50) con un dominio IIIA - IIIB, en la zona 3, cuerpo OB7 con un rango de RMR entre 65 a 66 (mineral 58 y volcánico 62) con un dominio II – IIIA.

2.3.5 Ciclo de minado

La unidad minera se divide en los sectores: Pucasalla Sur, Pucasalla Este, Patahuasi, Festejo, Festejo Norte y OB14 Upper.

El ciclo de minado aplicado en los diferentes sectores utilizando el método de minado *sublevel stoping* considera los siguientes procesos: perforación, voladura, ventilación, desate y limpieza, carguío y acarreo, sostenimiento y relleno. El presente estudio involucra el sostenimiento con cable bolting, el cual es tercerizado en la unidad minera.



Figura 6. Ciclo de minado en la mina Cerro Lindo
Tomada del Área de Planeamiento

ORGANIGRAMA



*Figura 7. Organigrama de la gerencia de minería, mina Cerro Lindo.
Tomada del Área de Planeamiento*

De acuerdo con la estructura organizacional de la UM Cerro Lindo, que involucra el presente estudio del análisis del cable bolting, mediante el uso del equipo Cabolt DS421, relaciona al Área de Perforación y Voladura.

La gerencia de minería involucra las áreas como: Avances, el CCOI (centro de integración de toda la mina), Perforación y Voladura, Producción, Relleno, Servicios y Ventilación.

2.4 Bases teóricas del estudio

Durante el desarrollo de labores subterráneas, la inestabilidad generada por el área disturbada requiere ser reforzadas por la generación de las áreas expuestas mediante refuerzos con cable. El cable bolting se usa para reforzar áreas expuestas muy grandes donde los pernos serían operativamente inadecuados.

El desarrollo de la presente tesis analiza la implementación del equipo CABOLT DS421 en la mejora del sostenimiento con cable bolting, en el tajo T770C, NV 1770 OB6.

El presente trabajo de investigación permitirá el análisis de la implementación del equipo Cabolt DS421 para el sostenimiento con cable bolting, realizando mejoras en la producción y reduciendo los riesgos críticos, mejorando en seguridad al ingresar con señalización y abordaje, así como el uso del equipo automatizado para la perforación e inyección de cemento con el equipo Cabolt DS421.

2.4.1 Consideraciones generales del estudio

El procedimiento de instalación de cable bolting se realiza de la siguiente manera: se perfora con el equipo Raptor XP55, el cableado e inyectado se realiza con un manipulador telescópico y bomba Putzmeister en el que se presenta los riesgos críticos de “trabajos en altura”, exposición a sustancias químicas y riesgos críticos de equipos móviles, esta actividad necesita de cinco colaboradores, de los cuales cuatro están expuestos.

El presente trabajo de investigación permitirá el análisis de la implementación del equipo Cabolt DS421 para el sostenimiento con cable bolting, realizando mejoras en la producción y reduciendo los riesgos críticos, mejorando en seguridad al ingresar con señalización y abordaje, así como el uso del equipo automatizado para la perforación e inyección de cemento con el equipo Cabolt DS421.

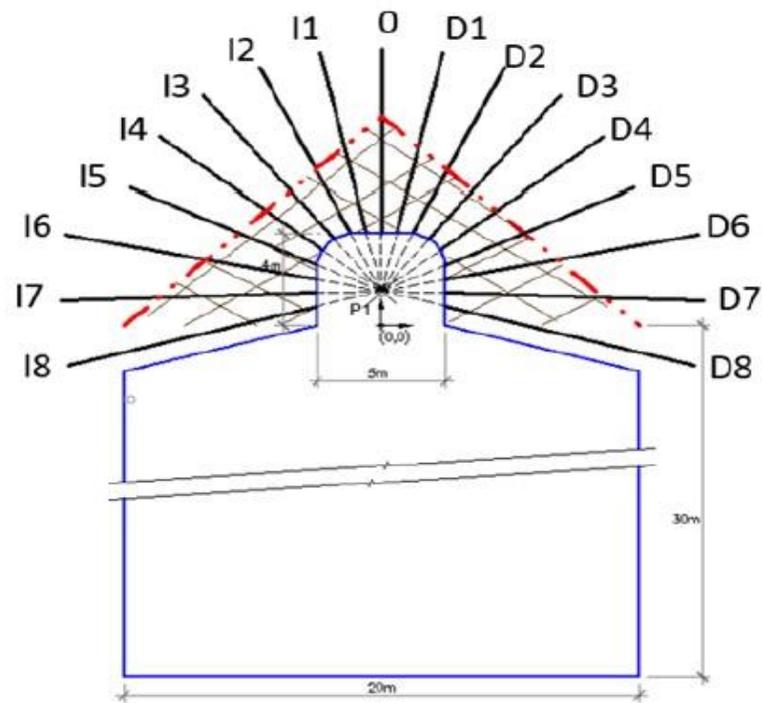
Considerando los resultados del *back* análisis y el análisis cinemático de cuñas, realizado por empresas especializadas, se ha elaborado un diseño de sostenimiento estándar tanto para el cuerpo mineralizado OB5 y OB6.

Los parámetros relacionados a la aplicación de cable bolting en la unidad minera se describe en la siguiente tabla:

Tabla 4. Parámetros de cable bolting, en el OB5 – OB6

Parámetros del cable bolting		
TECHO – OBS5/8		
Altura de cuña	10	m
Área de galería	20	m ²
Ancho de tajeo	20	m
Área de cuña	80	m ²
Densidad de roca	4.55	t/m ³
Peso de cuña por cada 2 m	728	t
Resistencia a la rotura por cada cable bolting	25	t
Resistencia a la adherencia	25	t/m
Longitud mínima de anclaje por encima de la cuña	2	m
Diámetro nominal del cable	5/8	pulgadas
Número de cables por taladro	2	unidades
Número de cables por sección	17	unidades
Resistencia del soporte	850	t
Longitud del cable en el techo	8	m
Longitud del cable en los hastiales	10	m
Espaciamiento longitudinal	2	m
Factor de seguridad	1.17	

Tomada del Área de Geomecánica



PUNTO DE INICIO EN LA SECCIÓN DE LA GALERÍA					
CABLE	X(m)	Y(m)	PUNTO DE CONVERGENCIA	ÁNGULO (°)	Long. Cable (m)
I8	0	1.5	P1	-15.00	10
I7	0	1.5	P1	-1.87	10
I6	0	1.5	P1	11.25	10
I5	0	1.5	P1	24.37	8
I4	0	1.5	P1	37.50	8
I3	0	1.5	P1	50.62	8
I2	0	1.5	P1	63.75	8
I1	0	1.5	P1	76.87	8
0	0	1.5	P1	90	8
D1	0	1.5	P1	76.87	8
D2	0	1.5	P1	63.75	8
D3	0	1.5	P1	50.62	8
D4	0	1.5	P1	37.50	8
D5	0	1.5	P1	24.37	8
D6	0	1.5	P1	11.25	10
D7	0	1.5	P1	-1.87	10
D8	0	1.5	P1	-15.00	10

**Figura 8. Esquema de diseño de Cable Bolting en el techo de tajeos, OB5 – OB6
Tomada del Área de Geomecánica**

El diseño anterior está hecho para un RMR predominante de 50 a 60. Sin embargo, en sectores donde la calidad de roca disminuye será recomendable revestir la galería con concreto lanzado, reducir el espaciamiento longitudinal del cable a 1.5 a 1.8 m. Por lo que, se recomienda implementar la colocación de platinas de acero en la cabecera del cable bolting.

En el caso de aplicar el cable bolting en el contacto de la estructura con la caja techo (roca volcánica), se considera los siguientes parámetros:

Tabla 5. Parámetros de cable bolting, contacto en el OB5 – OB6

PARÁMETROS DE CABLE BOLTING		
CONTACTO CON CAJA TECHO - OB5		
Tipo de sostenimiento	Sistemático	m
Altura de Tajeo	30	m
Ancho de Tajeo	20	m2
Longitud de tajeo	20 - 25	m
Número de cables por Taladro	2	Unid
Longitud del Cable mínimo	9	m
Espaciamiento Longitudinal	2.5	m
Espaciamiento Transversal	2.5	m

Tomada del Área de Geomecánica

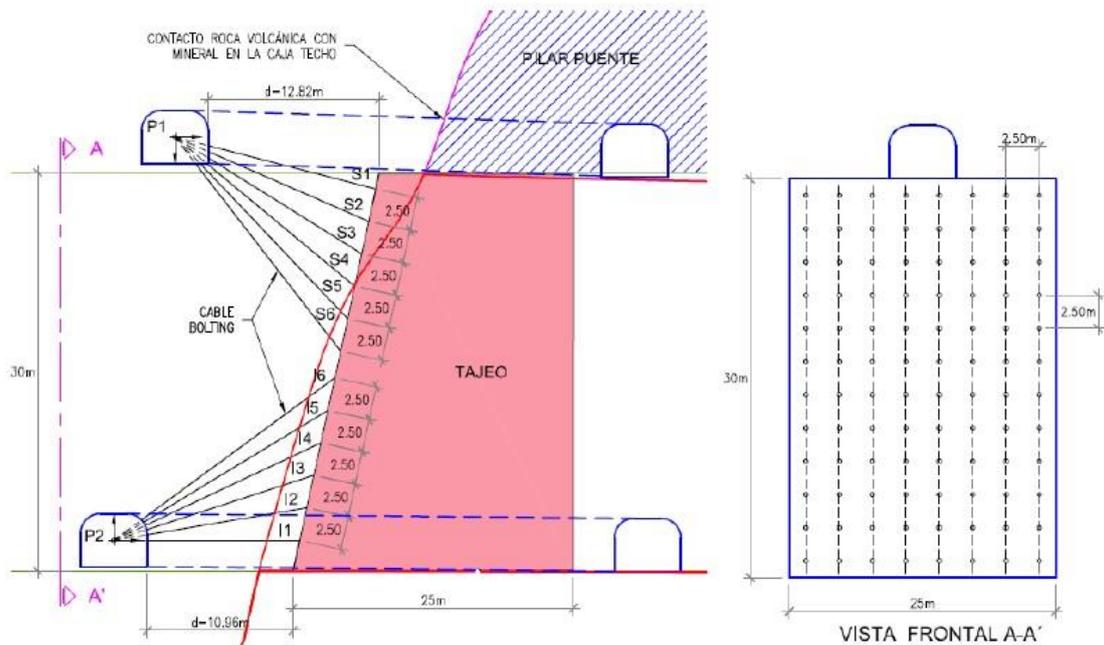
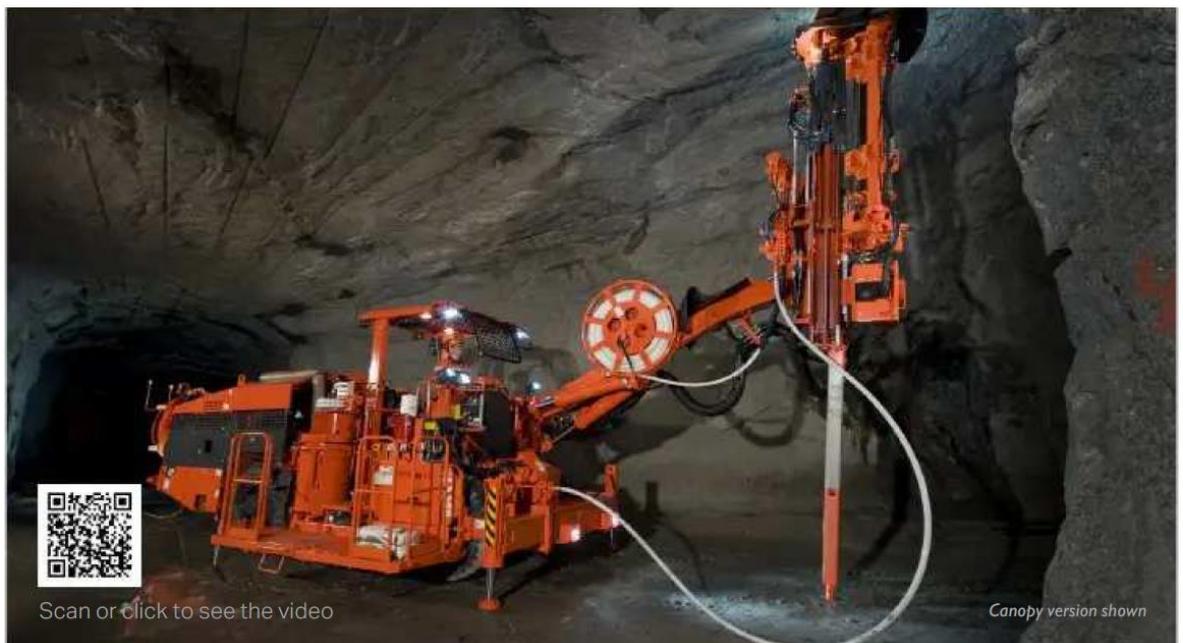


Figura 9. Esquema de diseño de cable bolting, zona contacto en caja techo
Tomada del Área de Geomecánica

De acuerdo con los estudios realizados, con la cantidad de principales familias de discontinuidades presentes se recomienda la instalación sistemática de cable bolting con un espaciamiento de 2.5 x 2.5 m a lo largo de la pared del tajeo. Sin embargo, en diferentes zonas de los cuerpos mineralizados donde el valor de ELOS es igual a 1 metro, el requerimiento de uso de cable bolting como sostenimiento de las cajas será localizado o eventual.

2.4.2 Especificaciones técnicas de equipo cabolt ds421



CARACTERÍSTICAS CLAVE

Perforadora de roca hidráulica	HL510 LH-38, CBH de 16 kW
Cabeza de atornillado	
Pluma de empemado	TBR60
Longitud del perno del cable	25 m
Ancho de giro (sección en T)	4 100 mm
Ancho de desplazamiento / atornillado Altura	2735 mm / 3975 mm 2940 mm /
de desplazamiento	2940 mm 11 955 mm / 12415
Longitud de transporte / atornillado	mm
Peso total	25 000 kilogramos dependiendo de las opciones

Figura 10. Especificaciones

Las características técnicas de los equipos CABOLT DS421, para el sostenimiento con cable bolting en la unidad minera Cerro Lindo considera longitudes de perno de cable hasta 25 metros, con un ancho de giro 4,100 mm, considerando un peso total del equipo de 25,000 kg.

El equipo CABOLT DS421 es un equipo de perforación para refuerzo de roca especializado en la instalación de pernos para cables con lechada de cemento en minas subterráneas y túneles.

El Sandvik DS421 es capaz de instalar pernos de cable de hasta 25 metros de largo con varios cordones de acero por orificio. El equipo de perforación está provisto de una mezcladora de cemento a bordo, una plataforma de bolsas de cemento y un carrete de alambre de acero. Por lo tanto, es autónomo durante más de un turno.

El sistema de manipulación de varillas de perforación tiene capacidad para 19 piezas de varillas de perforación MF redondas de 1"1/4 de diámetro. El tamaño de orificio de perforación recomendado para esta aplicación es de 51 mm. Sin embargo, se puede seleccionar un tamaño de orificio alternativo con el asesoramiento respectivo.

El diámetro del cordón de acero es normalmente de 15,2 mm, ya sea de acero plano o de cordón de anclaje de bulbo. La operación de empernado la realiza un solo operador ubicado lejos del módulo de perforación, inyección e instalación de cables (cabezal de empernado de cables CBH).

Como todos los equipos de perforación, el CABOLT DS421 está diseñado para brindar seguridad. Por ejemplo, la mayoría de los controles diarios y rutinarios se realizan con ambos pies en el suelo. (fuente: Manual de Sandvik DS421)

2.4.3 Consideraciones operacionales de sostenimiento con cable bolting

Para la realización del presente trabajo de investigación se utilizó los antecedentes operacionales que que analizaron el rendimiento del equipo Cabolt 421 desde el punto de vista de utilización, considerando algunos ítems como: tiempos muertos, actividades operativas y aspectos a mejorar.

a) Fecha de análisis: 03/12/2022

INCIMMET REPORTE DE OPERACIÓN DE EQUIPOS: CABOLT

EMPRESA: INCIMMET FECHA: 03-12-22
 UNIDAD: CENTRO UNICO GUARDIA: A
 EQUIPO (N°): 421/1 TURNO: Dia

HORONETRO DIESEL PERCUSION ELECTRICO COMPRESOR
 INICIAL: 106.4 266.5 246.5
 FINAL: 168.8 269.5 249.5

COMBUSTIBLE (GAL.)
 LONG. BARRA (pies): 180
 DIAM. BROCA (mm): 48mm

OPERADOR: H. Ventana AYUDANTE: K. Duran JEFE GUARDIA: A. Alarcon

N°	HORA INICIO	HORA FINAL	TIEMPO DE ACTIVIDAD	DETALLE	LABOR	NIVEL	CUERPO DB	MATERIAL	CANT. TALADROS PERFORADOS	LONG. DE PERFORAC.	CANT. DE FRAS	BARRAS POR TALADRO	CANT. TALADROS CARGADOS	CANT. TALADRO REVERTIDA	BOLSAS DE CEMENTO	OBSERVACION
1	6:00	7:15	201	Riesgos críticos												
2	7:15	8:00	300													
3	8:00	8:05	202	401												
4	8:05	8:40		Espera movilidad												
5	8:40	8:55	203													
6	8:55	9:00	204-205													
7	9:00	9:40	117													
8	9:40	10:15	401	Rotura de manguera #8 (solo se puerca de la estacion)				CA-002 1770 085	5	9mts 1/2						
9	10:15	10:02	117					CA-002 1770 085	6	9mts 1						
10	10:15	12:43	509	(Caída de tensión)												
11	12:43	3:00	308	Se para el equipo por orden de NEXA por caída de tensión (por el supervisor de NEXA TRUJILLO)												
12	3:00	5:00	401													

Observaciones manuscritas:
 - La bomba hidráulica tiene un sonido diferente al momento de arrancar.
 - El equipo debe baje cuando hay caída de tensión y eso no está pasando.
 - Reforzar la bomba de inyectado.

Figura 11. Reporte de operación de cable bolting 03-12-22 Tomada del Área de Geomecánica

- Tiempos muertos
 - Se consideró la pérdida de tiempo operacional en 3.38 horas, considerando las siguientes actividades como:
 - ✓ 7:00 am – 9:00 am (reparto de guardia y traslado del operador).
 - ✓ 11:05 am – 12:43 am (falta de energía, caída de tensión).
 - ✓ 12:43 am – 15:00 pm (equipo parado – orden de Nexa).

- Actividades operativas

El tiempo asociado a las diferentes actividades operativas o metros perforados consideran un total de 1.30 horas con 99 metros perforados.

- ✓ 9:00 am – 9:40 am (perforación 5 taladros de 9 metros).
- ✓ 10:15 am – 11:05 am (perforación 5 taladros de 9 metros).
- ✓ Total: 99 metros perforados.

- Aspectos por mejorar

- ✓ Falta de movilidad para el traslado.
- ✓ Mejorar coordinación – jefes de guardia.

b) Fecha de análisis: 04/12/2022

INCIMMET												REPORTE DE OPERACIÓN DE EQUIPOS: CABOLT											
EMPRESA		INCIMMET		FECHA		04-12-22		MOTRIZ		DIESEL		PERCUSIÓN		ELECTRICO		COMPRESOR		COMBUSTIBLE (Gal)		LONG. BARRA (pies)		DIAM. BROCA (mm)	
UNIDAD		CERRO LINDO		GUARDIA		B		INICIAL		113.0		279.7		259.3		1.8							
EQUIPO (N°)		DS421		TURNO		NOCHE		FINAL		114.3		286.9		266.5									
OPERADOR				AYUDANTE				JEFE GUARDIA															
RAFAEL KORTS				SANTAMPA				ORLANDO CAMACHO															
N°	HORA		CÓDIGO DE ACTIVIDAD	DETALLE	LABOR		MATERIAL	CANT. TALADROS PERFORADOS	LONG. DE PERFORACION	CANT. DE FILAS	SARROS POR TALADRO	CANT. TALADROS CABEADOS	CANT. TALADROS INYECTAD.	BOLSAS DE CEMENTO	OBSERVACION								
	INICIO	FINAL			LABOR	NIVEL																	
1	6:45	7:00	200																				
2	7:00	7:40	201																				
3	7:40	7:50	202																				
4	7:50	8:30	203																				
5	8:30	8:40	204																				
6	8:40	8:50	205																				
7	8:50	9:30	401	SG CAMBIO																			
8	9:30	10:20	117																				
9	10:20	11:30	406	SG PARO POR ROTURA DE MANGUERA																			
10	11:30	12:20	117																				
11																							
12	12:20	1:00	207																				
13	1:00	2:30	129																				
14	2:30	3:20	130																				
15	3:20	5:00	127																				
16	5:00	5:30	210																				
17																							
18																							
19																							
20																							
UBICACIÓN DEL EQUIPO		1340-0090		OBSERVACIONES																			
Operador (Firma y Nombre)				Supervisor / Jefe de Guardia (Firma y Nombre)				Mantenimiento (Firma y Nombre)															
<i>Rafael Korts</i>				<i>Santampa</i>				<i>Orlando Camacho</i>															

Figura 12. Reporte de operación de cable bolting, 04-12-22 Tomada del Área de Geomecánica

- Tiempos muertos

Se consideró la pérdida de tiempo operacional en 1.50 horas, considerando las siguientes actividades como:

- ✓ 7:00 am – 8:50 am (reparto de guardia y traslado del operador).

- Actividades operativas – metros perforados

El tiempo asociado a las diferentes actividades operativas o metros perforados consideran un total de 1.40 horas con 85 metros perforados.

- ✓ 9:30 am – 10:20 am (perforación 9 taladros de 5 metros).

- ✓ 11:30 am – 12:20 am (perforación 8 taladros de 5 metros).

- ✓ Total: 85 metros perforados.

- Actividades operativas – metros inyectados

El tiempo asociado a las diferentes actividades operativas o metros inyectados consideran un total de 2.30 horas con 319 metros inyectados.

- ✓ 14:30 pm – 15:20 pm (inyectado de cemento 26 taladros x 5 metros).

- ✓ 11:30 pm – 12:20 pm (inyectado de cemento 21 taladros x 9 metros).

- ✓ Total: 99 metros perforados.

- Aspectos por mejorar

- ✓ Falta de movilidad para el traslado.

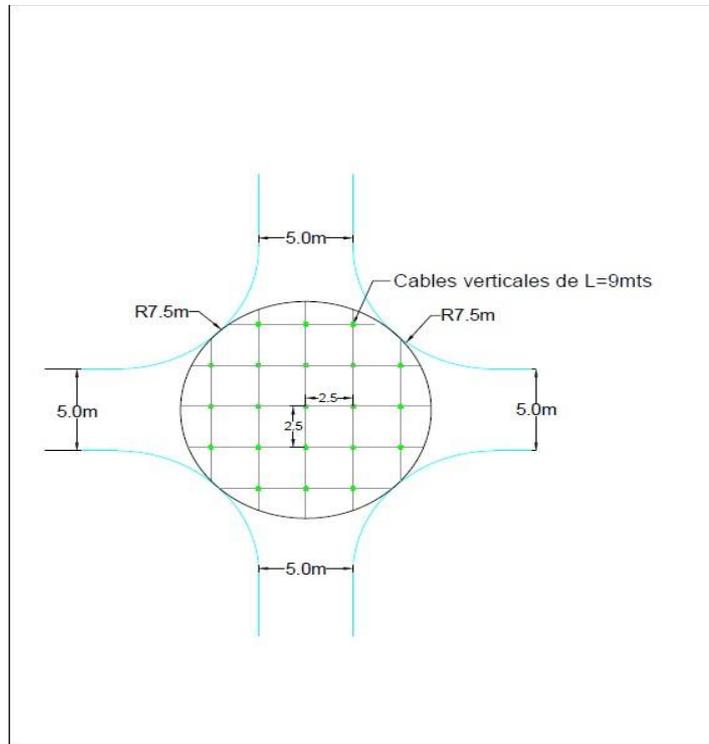
2.4.4 Estándar de sostenimiento de cable bolting

Las características de diseño de cable bolting en labores de avance (intersecciones) zonas de intersección se definirá por el Área de Geomecánica servicios.

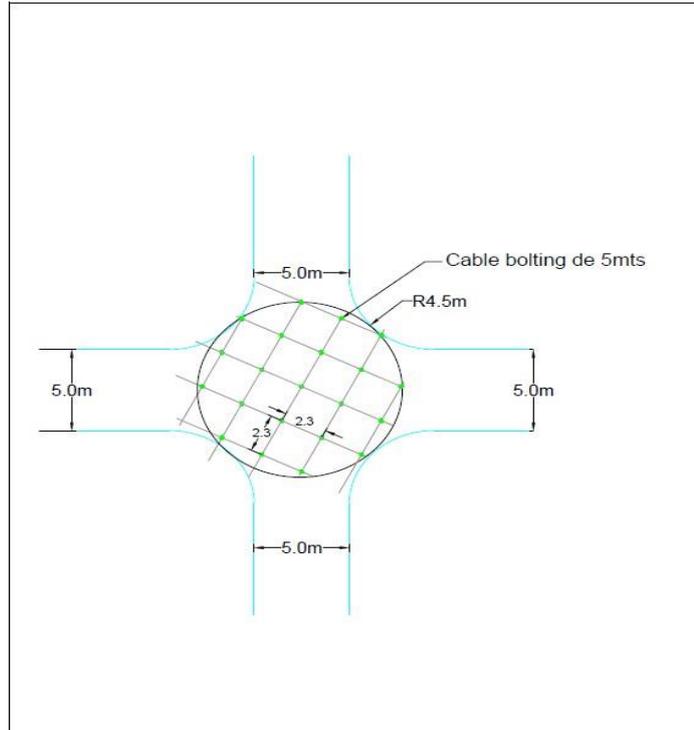
El estándar para intersecciones en cruz (X) y en (T), en rampas de sección de 5.0 x 5.0 metros y radios de 7.5 metros de diámetro, se considera los siguientes parámetros:

- Intersecciones en X

Considera diámetros de intersección en X de 7.5 y 4.5 metros, con mallas de 2.5 x 2.5 m y de 2.3 x 2.3 respectivamente. Con cables verticales de 9 metros y cable bolting en 5 metros.

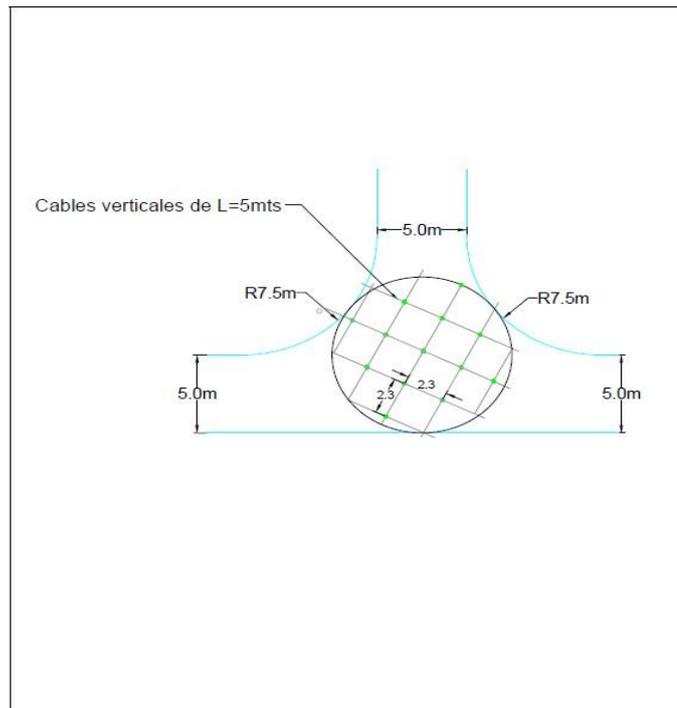


**Figura 13. Estándar de sostenimiento cable bolting en X – 7.5 m
Tomada del Área de Geomecánica**

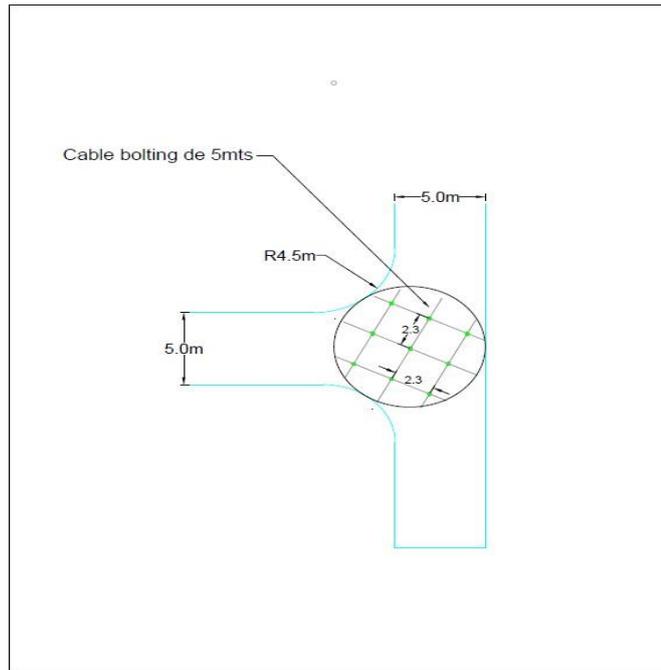


**Figura 14. Estándar de sostenimiento cable bolting en X – 4.5 m
Tomada del Área de Geomecánica**

- Intersecciones en T



**Figura 15. Estándar de sostenimiento cable bolting en T – 7.5 m
Tomada del Área de Geomecánica**



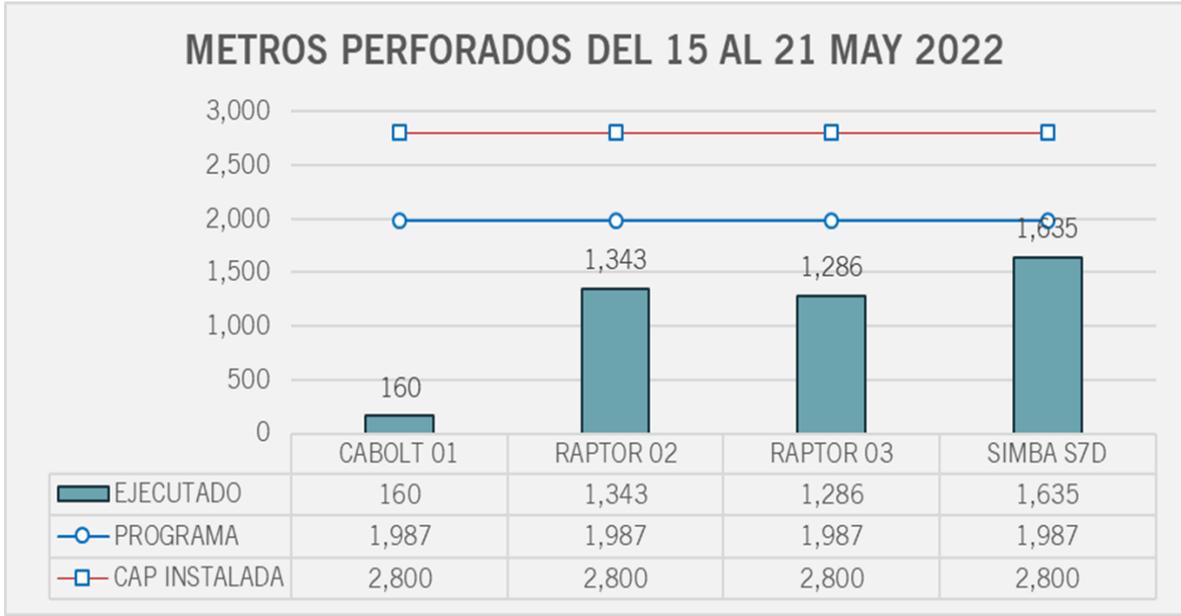
**Figura 16. Estándar de sostenimiento cable bolting en T – 4.5 m
Tomada del Área de Geomecánica**

Considera diámetros de intersección en T de 7.5 y 4.5 metros, con mallas de 2.3 x 2.3 en ambos escenarios. Con cables verticales de 5 metros y cable bolting en 5 metros.

2.4.5 Consideraciones de sostenimiento con cable bolting

El presente trabajo de investigación realiza el análisis de los metros perforados, así como metros cableados e inyectados y su incidencia en los metros valorizados.

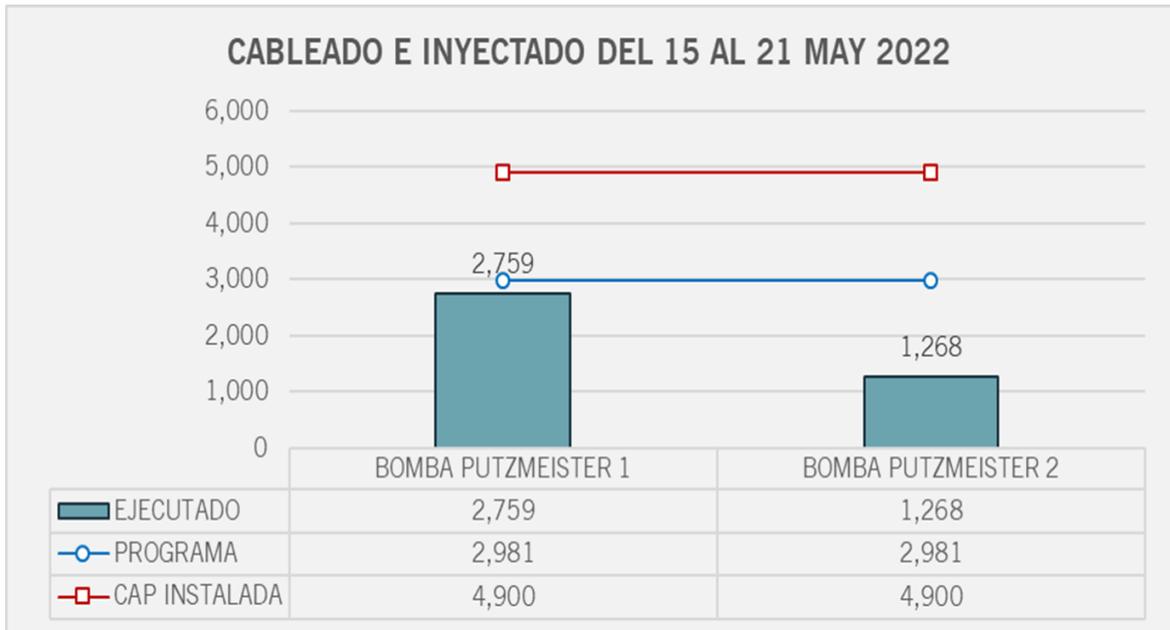
Como antecedente se analiza los metros perforados y metros cableados e inyectados durante un periodo de 7 días desde el 15 al 21 de mayo.



**Figura 17. Metros perforados, con equipos Raptor, Simba y Cabolt
Tomada del Área de Geomecánica**

Como se observa en los resultados obtenidos durante los metros perforados para la instalación de cable bolting, se analizaron equipos de perforación tipo Raptor, Simba y Cabolt.

Los metros perforados programados fueron 1,987 metros diarios, solo llegó a un máximo de perforación en 1,635 metros, siendo la capacidad instalada de 2,800 m/día.



**Figura 18. Cableado e inyectado en cable bolting
Tomada del Área de Geomecánica**

Como se observa en los resultados obtenidos en el cableado e inyectado para la instalación de cable bolting, considerando la bomba Putzmeister, los metros de cableado e inyectado durante el mismo periodo programado fue de 2,981 metros y el ejecutado fueron de un máximo de 2,759 metros, considerando una capacidad instalada de 4,900 metros.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 Método y alcances de la investigación

2.1.1 Método de la investigación

El desarrollo de la presente tesis es de carácter aplicada, de un nivel explicativo. El trabajo permite analizar la implementación del equipo Cabolt DS421 para la mejora del sostenimiento con cable bolting, en el OB6 de la UM Cerro Lindo.

a) Método general

El método general aplicado es el inductivo y deductivo, ya que a partir de la observación de los parámetros operacionales asociados al sostenimiento con cable bolting mediante la aplicación del equipo Cabolt DS421 ayudará a entender el comportamiento del sostenimiento en el T770 – Nv 1770 OB6 y el cual validará la hipótesis planteada en el presente trabajo.

b) Métodos específicos

La implementación del equipo Cabolt DS421 para el sostenimiento realizado en el Nv 1770 y ore body OB6 analiza los metros perforados por equipos Cabolt DS421 y equipos raptor, así como los metros cableados e inyectados durante el periodo de estudio y así determinar los diferentes niveles de cumplimiento describiendo las siguientes etapas:

- ✓ **Recopilación de informes previos.** Se recopiló diferentes informes asociados al tema de investigación, considerando las Áreas de Mina, Geología y Geomecánica, los que fueron relacionados al sostenimiento con cable bolting, en la UM Cerro Lindo.
- ✓ **Trabajo de campo.** Se observó directamente los metros perforados con equipos Cabolt y Raptor, así como los metros cableados e inyectados, en el sostenimiento de las labores del OB6, nivel Nv 1770.
- ✓ **Trabajo de gabinete:** Con la data asociada al trabajo de campo, analizando las variables operacionales mediante el uso de cable bolting con equipos Cabolt DS421 y su influencia en el sostenimiento.
- ✓ **Resultados.** Se analiza e interpreta los resultados obtenidos en el tiempo de investigación, considerando dar respuesta a los problemas planteados en el presente trabajo.

2.1.2 Alcances de la investigación

El alcance de la presente tesis es del tipo aplicado, para lo cual se relaciona las variables operacionales como metros perforados, cableados e inyectados, en la implementación de los equipos Cabolt DS421 para el sostenimiento.

2.2 Diseño de la investigación

El diseño es descriptivo, porque se analiza, interpreta y se realiza la validación o no del problema general y específicos considerando en la implementación del equipo Cabolt DS421 para la instalación de cable bolting en el nivel 1770 y cuerpo mineralizado OB6.

2.3 Población y muestra

2.3.1 Población

Pertenece a la unidad minera Cerro Lindo.

2.3.2 Muestra

Está relacionado a los parámetros operacionales en la implementación del equipo Cabolt DS421, labores en el nivel 1770 y ore body OB6.

2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

2.4.1 Técnicas utilizadas en la recolección de datos

- ✓ Observación *in situ* Nv 1770, OB6
- ✓ Observación metros perforados con equipo Cabolt DS421 y Raptor.
- ✓ Observación metros cableados e inyectados.

2.4.2 Instrumentos utilizados en la recolección de datos

- ✓ Tablas de metros perforados con equipos Cabolt DS421 y Raptor.
- ✓ Fichas de control de cable bolting.
- ✓ Reporte de operación de equipos Cabolt DS421 – Raptor.
- ✓ Uso Excel.
- ✓ Libros e información online, etc.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

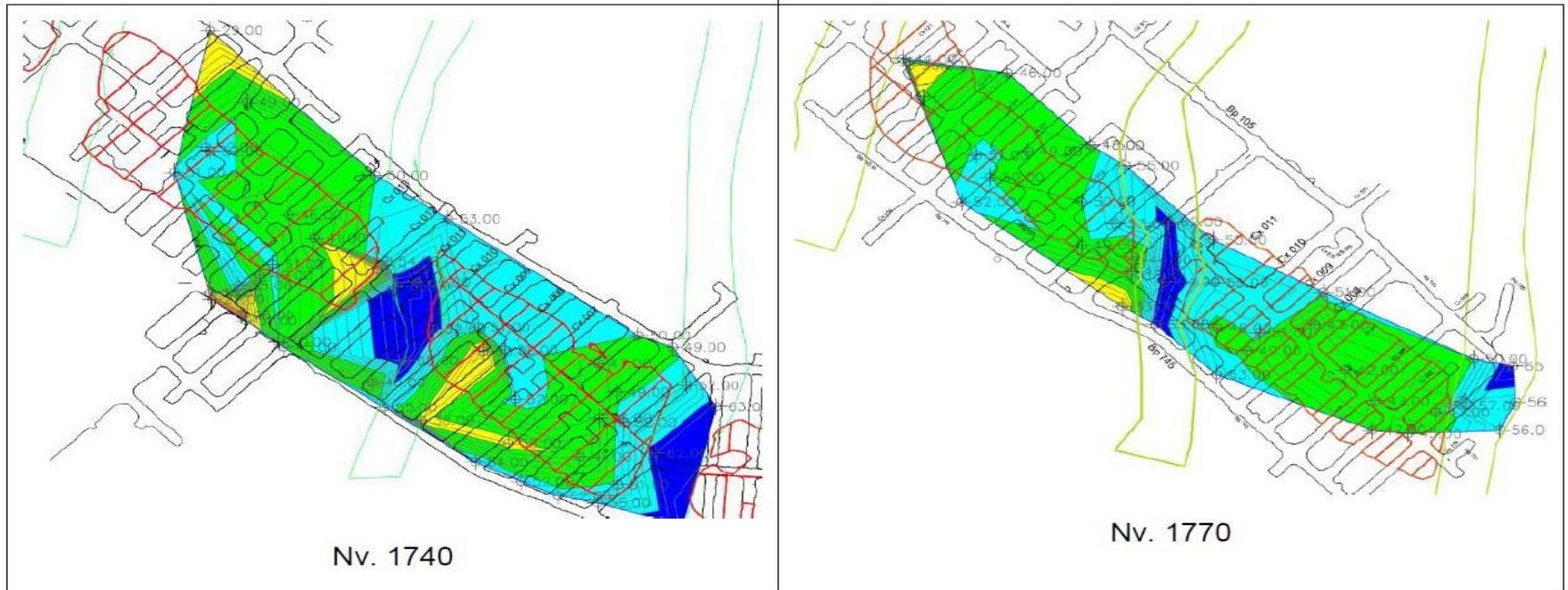
El presente trabajo de investigación permite realizar el análisis de la mejora del sostenimiento con cable bolting mediante la implementación del equipo Cabolt DS421 en el nivel 1770 del cuerpo mineralizado OB6 de la unidad minera Cerro Lindo.

Los parámetros analizados son los metros perforados, así como los metros cableados e inyectados, las actividades relacionadas a este proceso y su influencia económica en la pérdida de metros.

2.5 Características de operación inicial

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación se realizó el análisis de los metros perforados, cableados e inyectados de los equipos Cabolt, Raptor y Bomba Putzmeister, con la finalidad de identificar las diferentes actividades que influyeron en la pérdida de tiempo operacional, para luego determinar el costo asociado a los metros no perforados.

El trabajo se realizó durante un periodo de enero a junio del 2023, siendo los parámetros analizados en la implementación del equipo Cabolt DS421 y el equipo Raptor para determinar la mejora del sostenimiento con cable bolting.



Nv. 1740

Nv. 1770

RMR	TIPO DE ROCA		
<20	V	MUY MALA	
20 - 30	IV B	MALA	
31 - 40	IV A	MALA	
41 - 50	III B	REGULAR	
51 - 60	III A	REGULAR	
>60	II	BUENA	

Figura 20. Isovalores de RMR asociado al Nv 1770
Tomada del Área de Geomecánica

De acuerdo con los estudios realizados por el Área de Geomecánica - servicios técnicos, los diferentes frentes operacionales considera un RMR de 41 – 50, con un tipo de roca III B, considerado como regular y rocas con RMR de 51 – 60 con un tipo de roca III B y considerado como regular.

La aplicación del cable bolting será analizada en diferentes frentes asociados al Nv 1770, los que serán estudiadas e interpretadas mediante el uso de los equipos Cabolt y Raptor durante su instalación considerando los metros perforados, cableados e inyectados a sus actividades relacionadas y su costo asociado.

Tabla 6. Metros perforados, cableados e inyectados, Nv 1770

METROS PERFORADOS - CABLEADOS E INYECTADOS						
PERIODO ENERO - JULIO 23						
ITEM	METROS PROGRAMADOS	METROS PERFORADOS	METROS CABLEADOS	METROS INYECTADOS	TALADROS PERFORADOS	PROM. LONG. PERFORACIÓN
ENERO	780	780	780	780	156	5
BOMBA PUTZMAISTER 1		0	310	310		
BOMBA PUTZMEISTER 2		0	135	135		
CABOLT 01	335	260	235	235	52	5
CABOLT 02		75	100	100	15	5
RAPTOR 02	445	215	0	0	43	5
RAPTOR 03		230	0	0	46	5
FEBRERO	1,526	1,091	1,046	1,046	171	7
BOMBA PUTZMAISTER 1		0	420	420		
BOMBA PUTZMEISTER 2		0	140	140		
CABOLT 01	1,326	891	486	486	131	7
RAPTOR 02	100	100	0	0	20	5
RAPTOR 03	100	100	0	0	20	5
MARZO	2,575	1,333	1,207	1,207	157	8
BOMBA PUTZMEISTER 2		0	757	757		
CABOLT 01	1,593	279	198	198	31	9
CABOLT 02		306	252	252	34	9
RAPTOR 02	982	748	0	0	92	8
ABRIL	1,049	1,049	1,049	1,049	165	7
BOMBA PUTZMEISTER 2		0	919	919		
CABOLT 01	140	140	130	130	28	5
RAPTOR 02	100	200	0	0	40	5
RAPTOR 03	809	709	0	0	97	8
MAYO	1,107	848	827	827	140	6
BOMBA PUTZMEISTER 2		0	827	827		
CABOLT 02	755	521	0	0	97	6
RAPTOR 02	352	327	0	0	43	8
JUNIO	1,381	1,713	1,944	1,926	245	7
BOMBA PUTMEISTER 3		0	1,376	1,376		
BOMBA PUTZMEISTER 2		0	315	315		
CABOLT 02	235	577	253	235	73	8
RAPTOR 02	694	784	0	0	112	6
SIMBA	452	352	0	0	60	6
JULIO	722	2,789	2,884	2,790	381	7
BOMBA PUTMEISTER 2		0	2,347	2,293		
BOMBA PUTZMAISTER 3		0	120	120		
BOMBA PUTZMEISTER 3		0	100	100		
CABOLT 02	252	472	277	277	72	7
RAPTOR 02	235	2,072	40	0	260	8
SIMBA	235	155	0	0	31	5
SIMBA		90	0	0	18	5
Total general	9,140	9,603	9,737	9,625	1,415	7

El total de metros perforados con equipos Cabolt, Raptor y Simba durante el periodo de estudio de enero a julio fueron: el programado de 9,140 metros y el ejecutado de 9,603 metros, así como los metros cableados e inyectados con bombas Putzmeister en 9,737 metros y 9,625 metros respectivamente. Estos resultados generales serán detallados y analizados en los siguientes párrafos.

2.6 Análisis de los metros perforados

Como se mencionó en párrafos anteriores, se realizará el análisis de los metros perforados considerando los equipos Cabolt (materia del presente estudio) con los equipos Raptor para ser comparados y determinar la incidencia de productividad en la mejora del sostenimiento con cable bolting.

Tabla 7. Metros perforados, con equipos Cabolt, Raptor y Simba, Nv 1770

METROS PERFORADOS				
PERIODO ENERO - JULIO 23				
ITEM	METROS PROGRAMADOS	METROS PERFORADOS	TALADROS PERFORADOS	PROM. LONG. PERFORACIÓN
ENERO	780	780	156	5
CABOLT 01	335	260	52	5
CABOLT 02		75	15	5
RAPTOR 02	445	215	43	5
RAPTOR 03		230	46	5
FEBRERO	1,526	1,091	171	6
CABOLT 01	1,326	891	131	7
RAPTOR 02	100	100	20	5
RAPTOR 03	100	100	20	5
MARZO	2,575	1,333	157	9
CABOLT 01	1,593	279	31	9
CABOLT 02		306	34	9
RAPTOR 02	982	748	92	8
ABRIL	1,049	1,049	165	6
CABOLT 01	140	140	28	5
RAPTOR 02	100	200	40	5
RAPTOR 03	809	709	97	8
MAYO	1,107	848	140	7
CABOLT 02	755	521	97	6
RAPTOR 02	352	327	43	8
JUNIO	1,381	1,713	245	7
CABOLT 02	235	577	73	8
RAPTOR 02	694	784	112	6
SIMBA	452	352	60	6
JULIO	722	2,789	381	6
CABOLT 02	252	472	72	7
RAPTOR 02	235	2,072	260	8
SIMBA	235	155	31	5
SIMBA		90	18	5
Total general	9,140	9,603	1,415	6

Tabla 8. Metros perforados, con equipos Cabolt y Raptor, Nv 1770

METROS PERFORADOS				
PERIODO ENERO - JULIO 23				
ITEM	METROS PROGRAMADOS	METROS PERFORADOS	TALADROS PERFORADOS	PROM. LONG. PERFORACIÓN
ENERO	780	780	156	5
CABOLT	335	335	67	5
RAPTOR	445	445	89	5
FEBRERO	1,526	1,091	171	6
CABOLT	1,326	891	131	7
RAPTOR	200	200	40	5
MARZO	2,575	1,333	157	8
CABOLT	1,593	585	65	9
RAPTOR	982	748	92	8
ABRIL	1,049	1,049	165	5
CABOLT	140	140	28	5
RAPTOR	909	909	137	5
MAYO	1,107	848	140	7
CABOLT	755	521	97	6
RAPTOR	352	327	43	8
JUNIO	929	1,361	185	7
CABOLT	235	577	73	8
RAPTOR	694	784	112	6
JULIO	487	2,544	332	7
CABOLT	252	472	72	7
RAPTOR	235	2,072	260	8
Total general	8,453	9,006	1,306	6

Durante el periodo de estudio de enero a julio, se programó un total de 8,453 metros perforados y se ejecutó 9,006 metros perforados, desarrollados con los equipos Cabolt y Raptor. Se colige que existe una mejora en el rendimiento entre lo programado y ejecutado en 553 metros.

El total de taladros perforados ejecutados durante el tiempo de estudio fue de 1,306 metros, considerando longitudes de perforación entre 5 y 9 metros con un promedio de 6 metros.

a) Resumen de metros perforados con equipos Cabolt y Raptor

Durante el periodo de estudio de enero a julio se analizó los metros perforados programados y ejecutados, considerando su nivel de cumplimiento y los metros perforados asociados.

Tabla 9. Resumen de metros perforados y su nivel de cumplimiento, Nv 1770

METROS PERFORADOS								
PERIODO ENERO - JULIO 23								
PERIODO	CABOLT				RAPTOR			
MES	METROS PROGRAM.	METROS PERFOR.	CUMPLIMIENTO %	DIFERENCIA m	METROS PROGRAM.	METROS PERFOR.	CUMPLIMIENTO %	DIFERENCIA m
ENERO	335	335	100%	0	445	445	100%	0
FEBRERO	1,326	891	67%	-435	200	200	100%	0
MARZO	1,593	585	37%	-1,008	982	748	76%	-234
ABRIL	140	140	100%	0	909	909	100%	0
MAYO	755	521	69%	-234	352	327	93%	-25
JUNIO	235	577	246%	342	694	784	113%	90
JULIO	252	472	187%	220	235	2,072	882%	1,837
TOTAL/PROM	4,636	3,521	76%	-1,115	3,817	5,485	144%	1,668

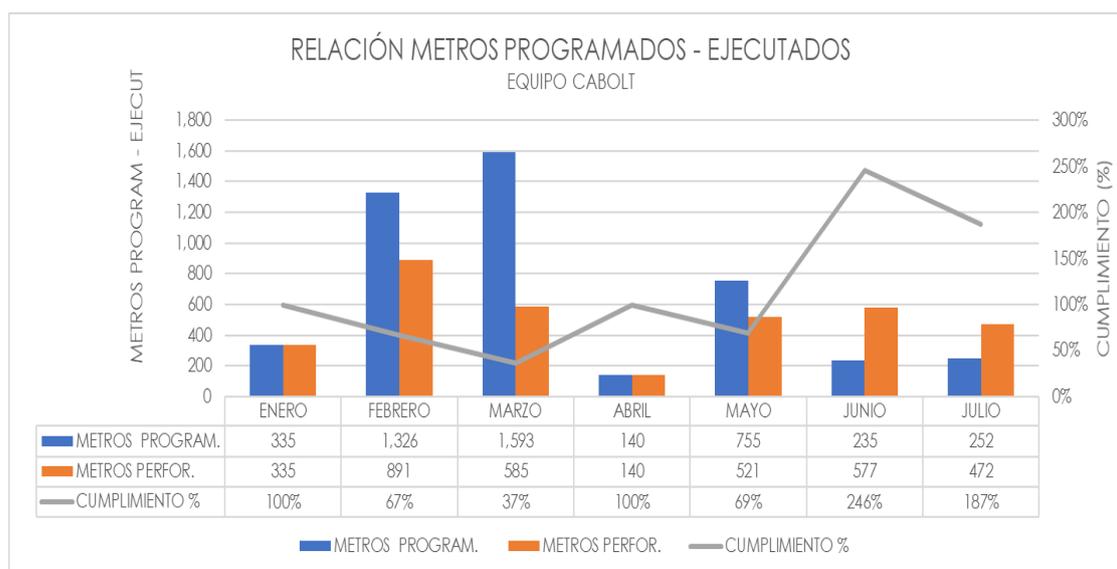


Figura 21. Relación metros programados y ejecutados, equipo Cabolt

En equipos Cabolt, los metros perforados programados fueron de 4,636 metros siendo el ejecutado de 3,521 metros con un nivel de cumplimiento del 76 %, considerando un déficit de cumplimiento de -1,115 metros. Este menor cumplimiento se relaciona directamente a los meses de febrero, marzo y mayo con 67 %, 37 % y 69 % respectivamente, los que serán analizados de acuerdo con las actividades realizadas.

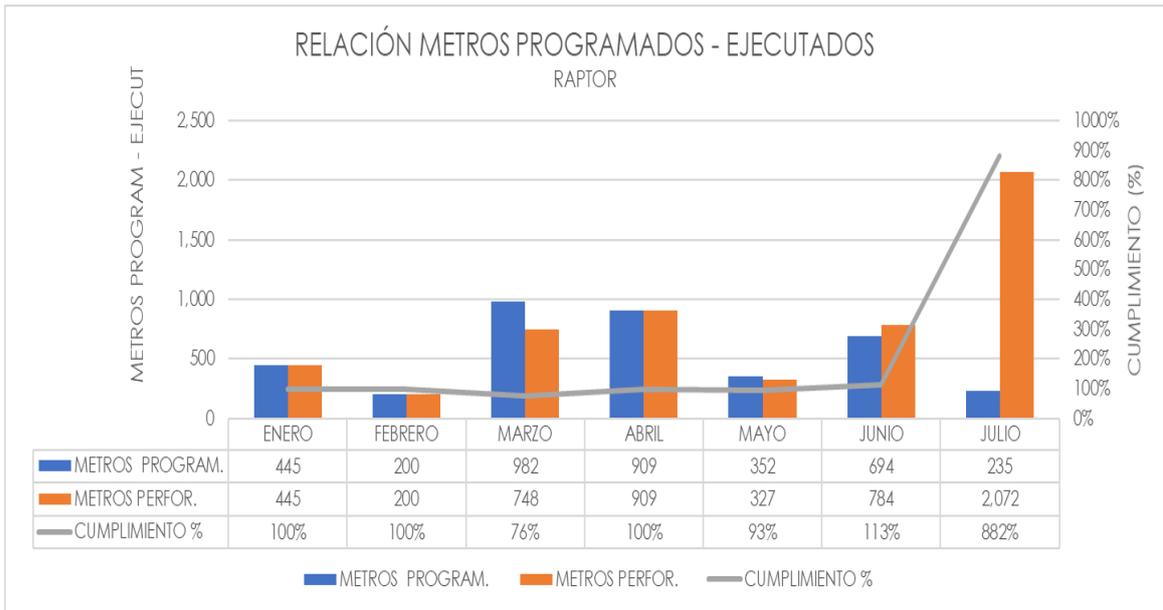


Figura 22. Relación metros programados y ejecutados, equipo Raptor

En equipos Raptor, los metros perforados programados fueron de 3,817 metros siendo el ejecutado de 5,485 metros, con un nivel de cumplimiento del 144 %, considerando un incremento de cumplimiento de 1,668 metros. Este mayor cumplimiento se relaciona directamente a los meses de junio y julio con 113 % y 882 % respectivamente, los que serán analizados de acuerdo con las actividades realizadas.

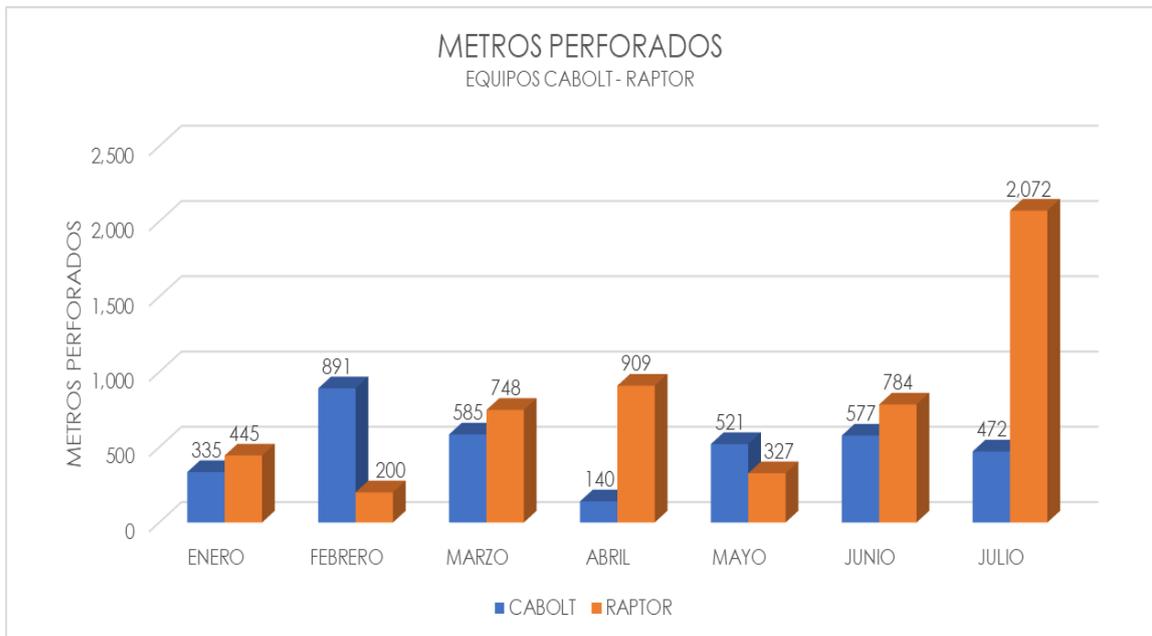


Figura 23. Resumen de metros perforados en los equipos Cabolt y Raptor

Durante el periodo de estudio, solo en los meses de febrero y mayo, se observa un mayor metraje perforado entre el equipo Cabolt y el equipo Raptor con 891 y 200 metros, y con 521 y 327 metros respectivamente. Asimismo, el mayor metraje realizado por los equipos Raptor con referencia a los equipos Cabolt se realizaron en el resto de los meses, siendo los meses de abril y julio los de mayor incidencia con 140 y 190 metros, y 472 con 2,072 metros respectivamente.

Estos mejores resultados observados en los equipos Raptor comparado con los equipos Cabolt, serán analizados en párrafos posteriores, de acuerdo con sus actividades operacionales realizadas.

2.7 Análisis de los metros cableados e inyectados

Una vez definido los metros perforados, se analizan los metros cableados e inyectados, los que serán analizados mediante el uso de la bomba Putzmeister durante el periodo de estudio.

Tabla 10. Metros cableados e inyectados, Nv 1770

METROS CABLEADOS E INYECTADOS		
PERIODO ENERO - JULIO 23		
ITEM	METROS CABLEADOS	METROS INYECTADOS
ENERO	445	445
BOMBA PUTZMAISTER 1	310	310
BOMBA PUTZMEISTER 2	135	135
FEBRERO	560	560
BOMBA PUTZMAISTER 1	420	420
BOMBA PUTZMEISTER 2	140	140
MARZO	757	757
BOMBA PUTZMEISTER 2	757	757
ABRIL	919	919
BOMBA PUTZMEISTER 2	919	919
MAYO	827	827
BOMBA PUTZMEISTER 2	827	827
JUNIO	1,691	1,691
BOMBA PUTMEISTER 3	1,376	1,376
BOMBA PUTZMEISTER 2	315	315
JULIO	2,567	2,513
BOMBA PUTMEISTER 2	2,347	2,293
BOMBA PUTZMAISTER 3	120	120
BOMBA PUTZMEISTER 3	100	100
Total general	7,766	7,712

Durante el periodo de estudio de enero a julio se ejecutó un total de 7,766 metros cableados y de 7,712 metros inyectados, considerando el uso de las bombas Putzmeister 1, 2 y 3.

a) Resumen de metros cableados e inyectados con bomba Putzmeister

Durante el periodo de estudio de enero a julio se analizó los metros cableados e inyectados con la bomba Putzmeister, considerando su nivel de cumplimiento y los metros inyectados y cableados.

Tabla 11. Metros cableados e inyectados, Nv 1770

METROS CABLEADOS E INYECTADOS			
PERIODO ENERO - JULIO 23			
BOMBA PUTZMAISTER			
MES	METROS CABLEADOS	METROS INYECTADOS	CUMPLIMIENTO %
ENERO	445	445	100%
FEBRERO	560	560	100%
MARZO	757	757	100%
ABRIL	919	919	100%
MAYO	827	827	100%
JUNIO	1,691	1,691	100%
JULIO	2,567	2,513	98%
TOTAL/PROM	7,766	7,712	99.7%

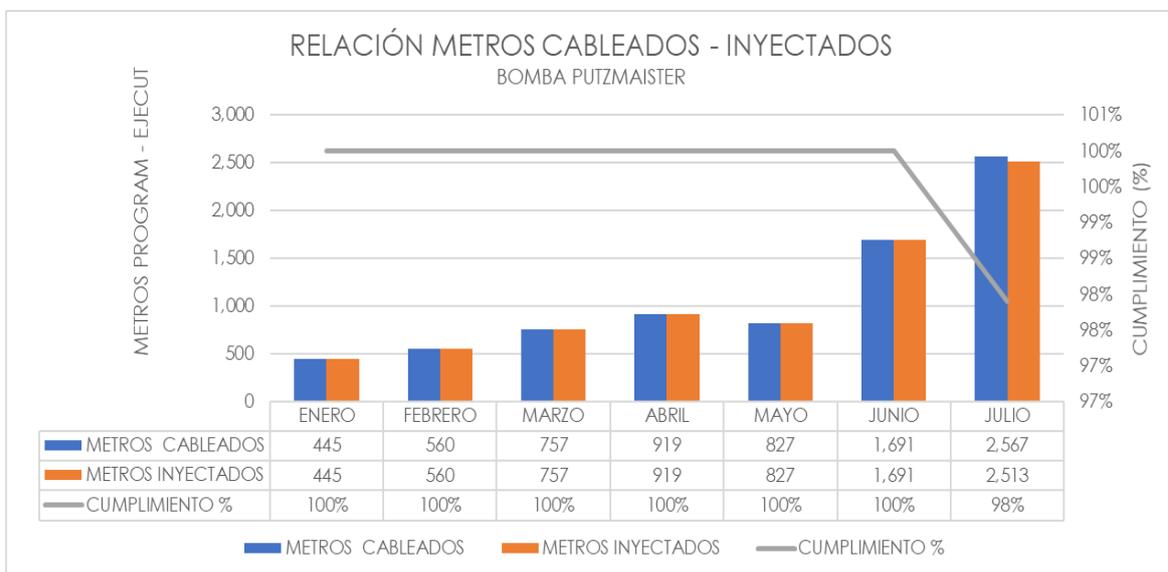


Figura 24. Relación de metros cableados e inyectados

El total de metros cableados fue de 7,776 metros y los metros inyectados fue de 7,712 metros, considerando un nivel de cumplimiento del 99.7 %, y un déficit de 54 metros.

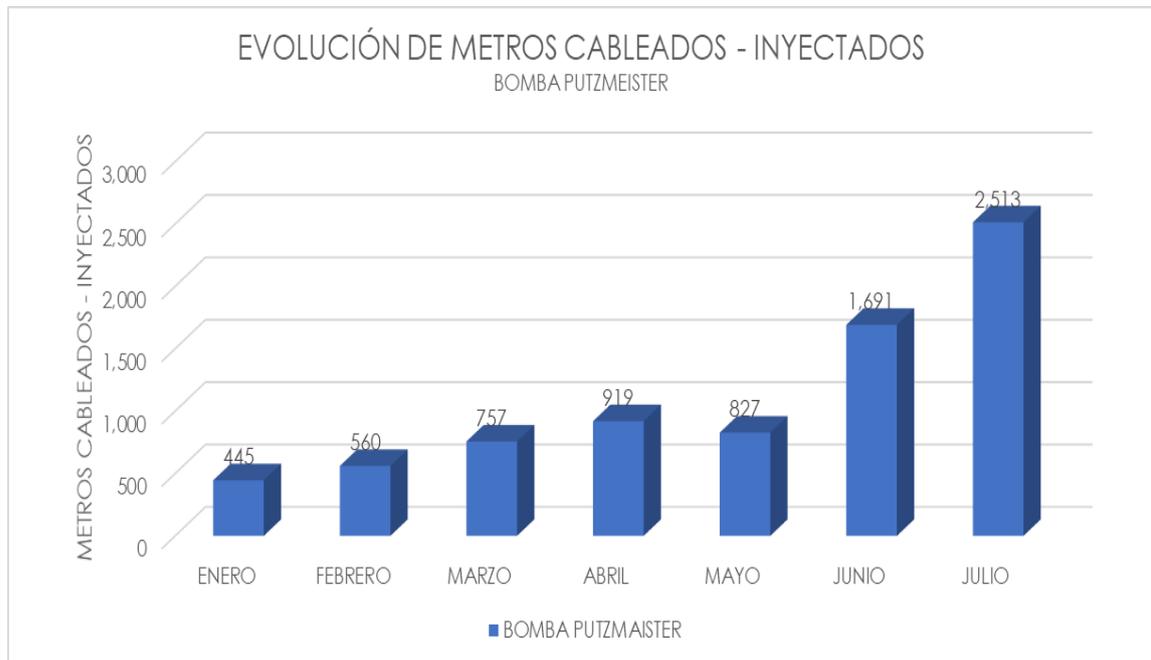


Figura 25. Evolución de metros cableados e inyectados, Nv 1770

La evolución de los metros cableados e inyectados, durante el periodo de enero a julio, presenta un incremento en el uso de la bomba Putzmeister, considerando desde 445 metros a 2,513 metros cableados e inyectados.

2.8 Análisis de las actividades en cable bolting

Para entender el cumplimiento de los metros perforados, cableados e inyectados se analizó las diferentes actividades relacionadas a los equipos Cabolt, Raptor y bomba Putzmeister.

Las actividades relacionadas a la instalación con cable bolting serán analizadas mediante la herramienta de Pareto y así identificar las diferentes actividades que inciden en la pérdida de tiempo operacional.

a) Análisis de Pareto – equipo Cabolt

Tabla 12. Diagrama de Pareto – equipo Cabolt, Nv 1770

DIAGRAMA DE PARETO - CABOLT DS421				
PERIODO ENERO - JULIO				
ACTIVIDAD	FRECUENCIA HORAS	%	ACUMULADO	% ACUMULADO
EQUIPO INOPERATIVO	12.33	21.08%	12.33	21.08%
FALLA MECANICA	7.50	12.82%	19.83	33.90%
FALLA MECANICA	7.17	12.25%	27.00	46.15%
SIMULTANEIDAD	6.00	10.26%	33.00	56.41%
FALTA DE MARCADO	4.00	6.84%	37.00	63.25%
TRABAJO SIMULTANEO	4.00	6.84%	41.00	70.09%
CONDICION SUBESTANDAR	4.00	6.84%	45.00	76.92%
TRASLADO DE EQUIPO	3.50	5.98%	48.50	82.91%
FALLA ELECTRICA	3.00	5.13%	51.50	88.03%
FALTA DE ENERGIA/CAIDA DE TENSION	3.00	5.13%	54.50	93.16%
FALTA DE AGUA	2.00	3.42%	56.50	96.58%
FALTA DE ENERGIA	2.00	3.42%	58.50	100.00%
TOTAL GENERAL	58.50	100.00%		

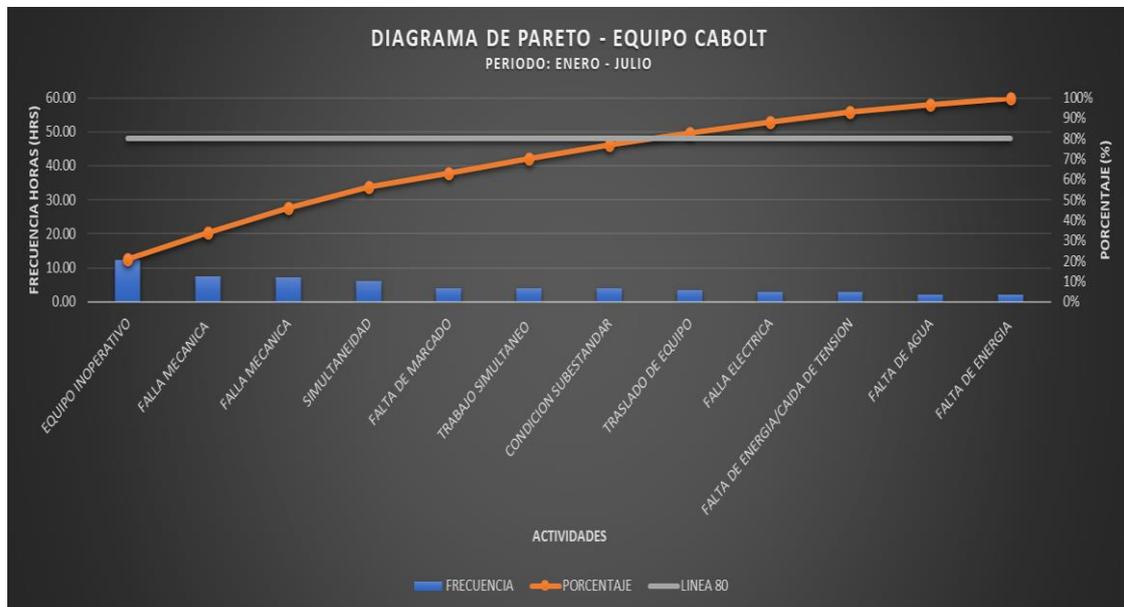


Figura 26. Diagrama de Pareto, equipo Cabolt, periodo enero a julio, Nv 1770

De acuerdo con el análisis de Pareto en los equipos Cabolt durante el periodo de estudio de enero a julio, indica una pérdida de tiempo total de 54.50 horas. El total del 20 % de actividades que representa el 80 % de problemas presentan las siguientes actividades: equipo inoperativo, falla mecánica, simultaneidad, falta de marcado, condición subestándar y traslado del equipo, considerando un total de pérdidas operacionales en 48.50 horas.

Tabla 13. Resumen de actividades – equipo Cabolt, Nv 1770

RESUMEN DE ACTIVIDADES - EQUIPO CABOLT			
PÉRDIDA DE TIEMPO: ENERO A JULIO			
ACTIVIDAD	TIEMPO (HRS)	INCIDENCIA (%)	METROS PERDIDOS
EQUIPO INOPERATIVO	12.33	21.1%	370
FALLA MECANICA	7.50	12.8%	225
FALLA MECANICA	7.17	12.3%	215
SIMULTANEIDAD	6.00	10.3%	180
FALTA DE MARCADO	4.00	6.8%	120
TRABAJO SIMULTANEO	4.00	6.8%	120
CONDICION SUBESTANDAR	4.00	6.8%	120
TRASLADO DE EQUIPO	3.50	6.0%	105
FALLA ELECTRICA	3.00	5.1%	90
FALTA DE ENERGIA/CAIDA DE TENSION	3.00	5.1%	90
FALTA DE AGUA	2.00	3.4%	60
FALTA DE ENERGIA	2.00	3.4%	60
TOTAL GENERAL	58.50	100%	1,755

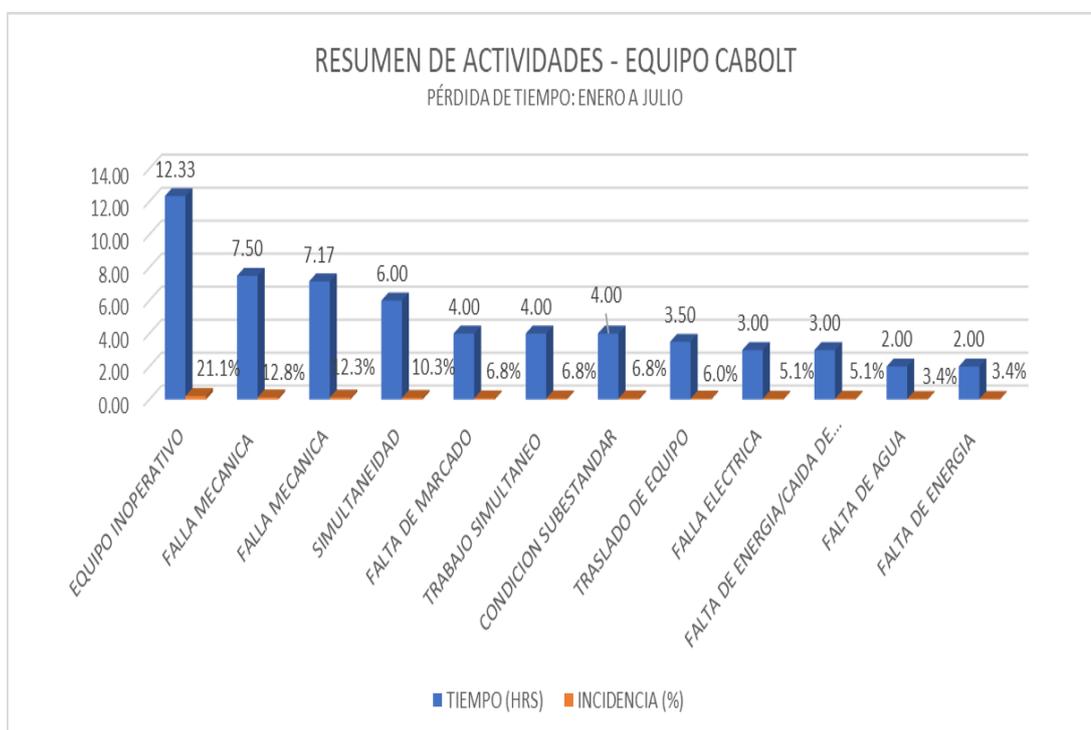


Figura 27. Resumen de actividades, equipo Cabolt, Nv 1770

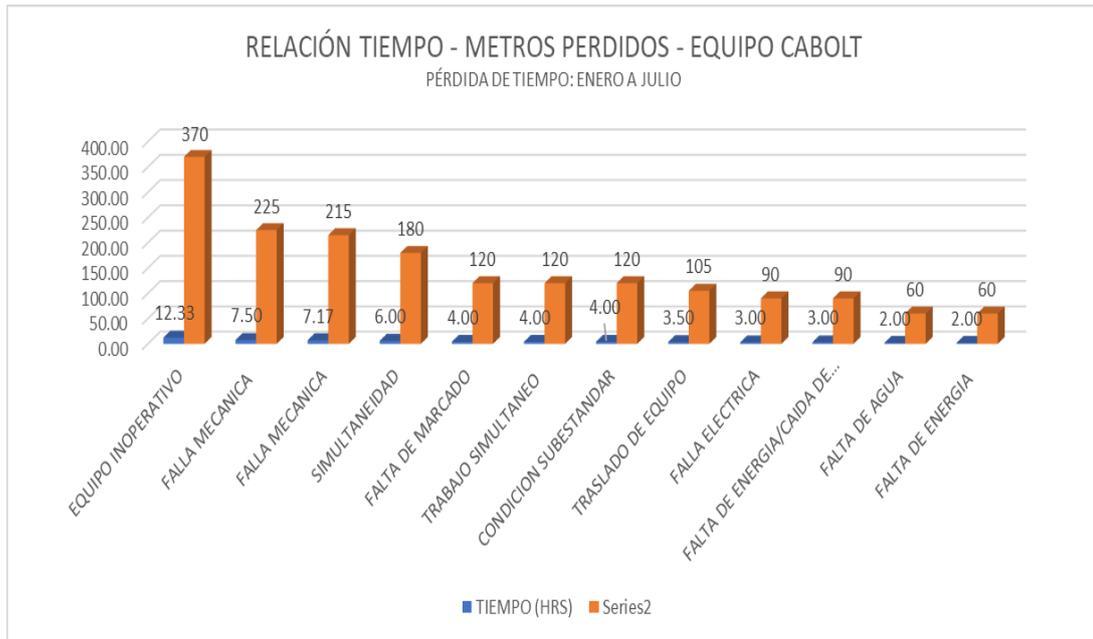


Figura 28. Relación tiempo, metros perdidos en equipo Cabolt, Nv 1770

De acuerdo a las principales actividades identificadas por la herramienta de Pareto considera las siguientes incidencias de acuerdo a influencia en la pérdida de tiempo operacional y metros perdidos: equipo inoperativo con incidencia del 21.1 %, con 12.33 horas y 370 metros perdidos; falla mecánica con incidencia del 12.8 – 12.3 %, con 7.50 – 7.17 horas y 225 - 215 metros perdidos; simultaneidad con incidencia del 10.3 %, con 6.0 horas y 180 metros perdidos; falta de marcado con incidencia del 6.8 %, con 4.0 horas y 120 metros perdidos; trabajo simultáneo con incidencia del 6.8 %, con 4.0 horas y 120 metros perdidos; condición subestándar con incidencia del 6.8 %, con 4 horas y 120 metros perdidos y traslado de equipo con incidencia del 6.0 %, con 3.5 horas y 105 metros perdidos.

El análisis realizado durante el periodo de enero a junio indica una pérdida de tiempo en 58.50 horas, considerando las 2 principales actividades que inciden en el rendimiento en la instalación de cable bolting, las cuales son falla mecánica y equipo inoperativo, considerando una pérdida de tiempo en 27 horas, con incidencia del 46.2 % y 810 metros perdidos.

b) Análisis de Pareto – equipo Raptor

Tabla 14. Diagrama de Pareto – equipo Raptor, Nv 1770

DIAGRAMA DE PARETO - RAPTOR				
PERIODO ENERO - JULIO				
ACTIVIDAD	FRECUENCIA HORAS	%	ACUMULADO	% ACUMULADO
EQUIPO INOPERATIVO	9.75	28.47%	9.75	28.47%
FALTA DE ENERGIA/CAIDA DE TENSION	5.67	16.55%	15.42	45.01%
SIMULTANEIDAD	5.08	14.84%	20.50	59.85%
FALLA MECANICA	5.00	14.60%	25.50	74.45%
TRASLADO DE EQUIPO	4.50	13.14%	30.00	87.59%
FALTA/BAJA PRESION DE AGUA	3.00	8.76%	33.00	96.35%
FALLA MECANICA	1.25	3.65%	34.25	100.00%
TOTAL GENERAL	34.25	100.00%		

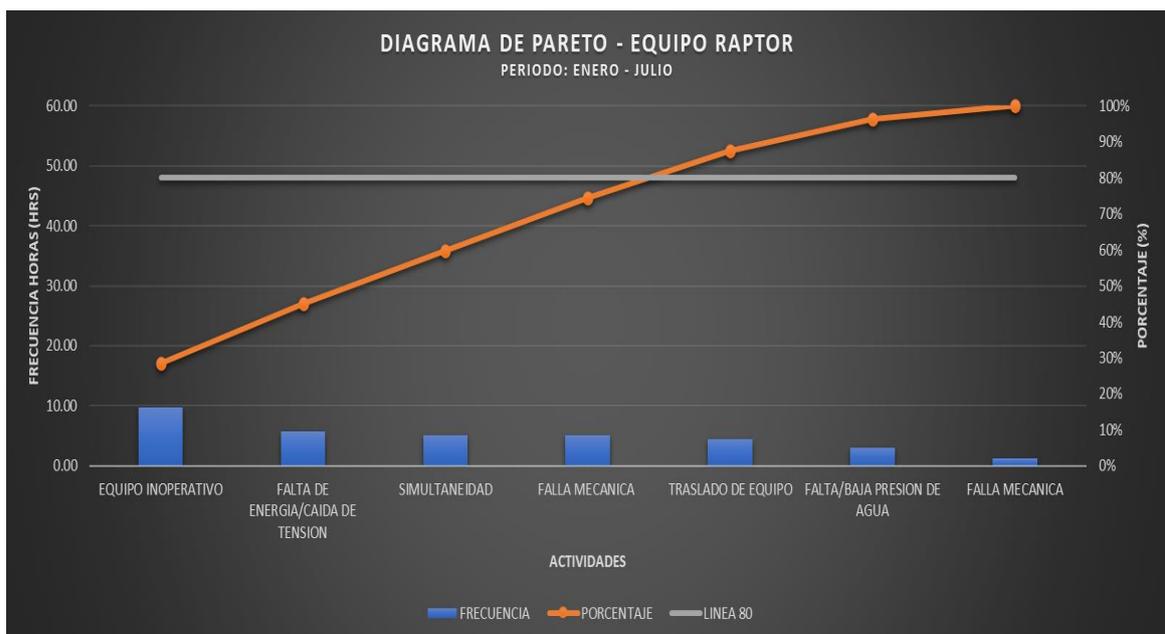


Figura 29. Diagrama de Pareto, equipo Raptor, periodo enero a julio, Nv 1770

De acuerdo con el análisis de Pareto en los equipos Cabolt durante el periodo de estudio de enero a julio, considera una pérdida de tiempo total de 34.25 horas. El total del 20 % de actividades que representa el 80 % de problemas indican las siguientes actividades: equipo inoperativo, falla de energía/caída de energía, simultaneidad, falla mecánica y traslado del equipo considerando un total de pérdidas operacionales en 30.0 horas.

Tabla 15. Resumen de actividades – equipo Raptor, Nv 1770

RESUMEN DE ACTIVIDADES - EQUIPO RAPTOR			
PÉRDIDA DE TIEMPO: ENERO A JULIO			
ACTIVIDAD	TIEMPO (HRS)	INCIDENCIA (%)	METROS PERDIDOS
EQUIPO INOPERATIVO	9.75	28.47%	292.5
FALTA DE ENERGIA/CAIDA DE TENSION	5.67	16.55%	170
SIMULTANEIDAD	5.08	14.84%	152.5
FALLA MECANICA	5.00	14.60%	150
TRASLADO DE EQUIPO	4.50	13.14%	135
FALTA/BAJA PRESION DE AGUA	3.00	8.76%	90
FALLA MECANICA	1.25	3.65%	37.5
TOTAL GENERAL	34.25	100%	1,028

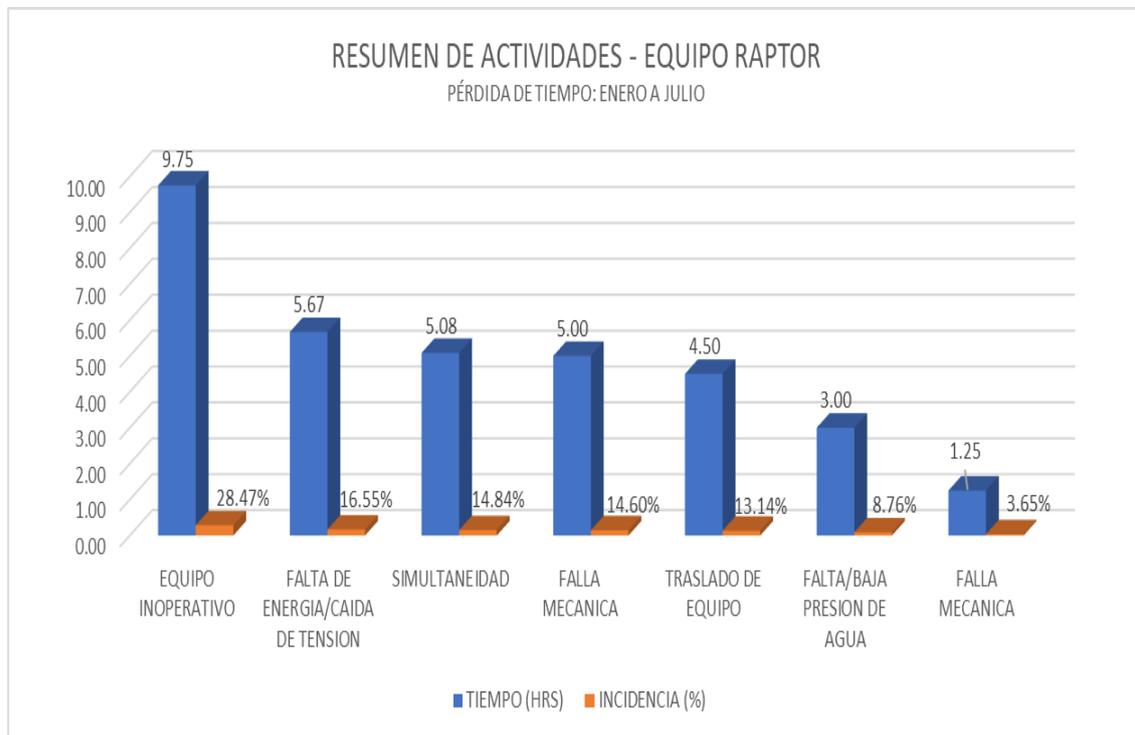


Figura 30. Resumen de actividades, equipo Raptor, Nv 1770

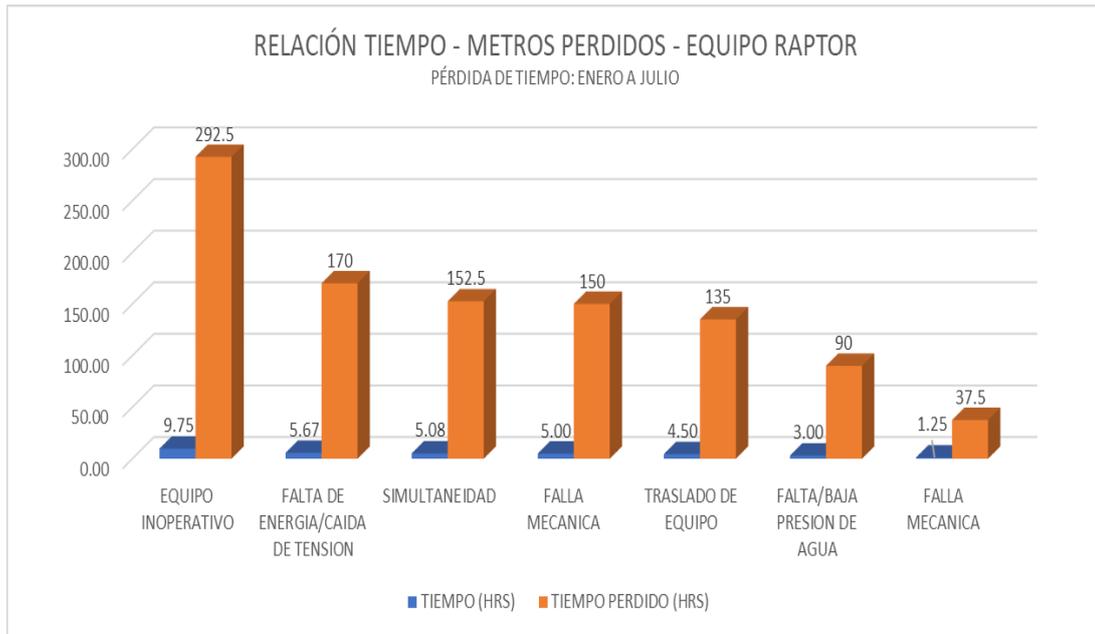


Figura 31. Relación tiempo, metros perdidos en equipo Raptor, Nv 1770

De acuerdo a las principales actividades identificadas por la herramienta de Pareto considera las siguientes incidencias de acuerdo a influencia en la pérdida de tiempo operacional y metros perdidos: equipo inoperativo con incidencia del 28.47 %, con 9.75 horas y 292.50 metros perdidos; falta de energía/caída de tensión con incidencia del 16.55 %, con 5.67 horas y 170 metros perdidos; simultaneidad con incidencia del 14.84 %, con 5.08 horas y 152.5 metros perdidos; falla mecánica con incidencia del 14.60 – 3.65 %, con 5.0 – 1.25 horas y 187.5 metros perdidos; traslado del equipo con incidencia del 13.14 %, con 4.50 horas y 135 metros perdidos y falta/baja presión de agua con incidencia del 8.76 %, con 3.00 horas y 90 metros perdidos.

El análisis realizado durante el periodo de enero a junio en equipos Raptor indica una pérdida de tiempo en 34.25 horas, considerando las 2 principales actividades que inciden en el rendimiento en la instalación de cable bolting: equipo inoperativo y falta de energía/caída de tensión, considerando una pérdida de tiempo en 15.42 horas, con incidencia del 45.01 % y 462.5 metros perdidos.

c) Análisis de Pareto – bomba Putzmeister

Tabla 16. Diagrama de Pareto – bomba Putzmeister, Nv 1770

DIAGRAMA DE PARETO - BOMBA PUTZMEISTER				
PERIODO ENERO - JULIO				
ACTIVIDAD	FRECUENCIA HORAS	%	ACUMULADO	% ACUMULADO
EQUIPO INOPERATIVO	10.0	54.05%	10.00	54.05%
FALTA DE ENERGIA/CAIDA DE TENSION	7.5	40.54%	17.50	94.59%
SIMULTANEIDAD	1.0	5.41%	18.50	100.00%
TOTAL GENERAL	18.5	100.00%		

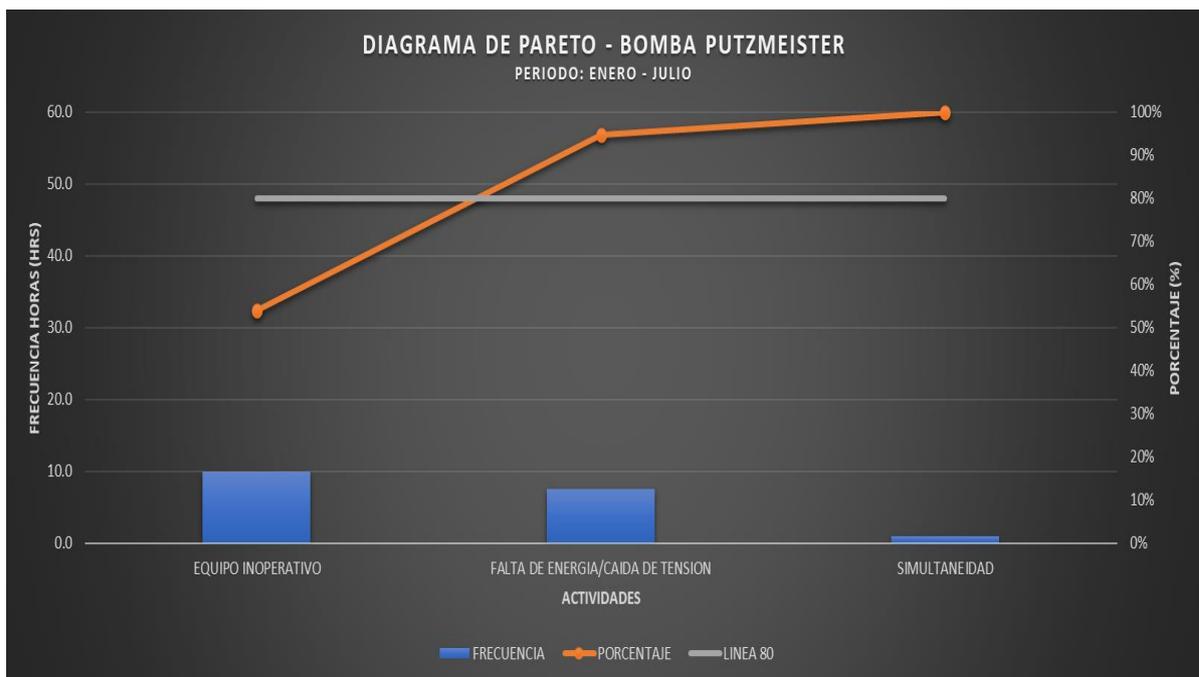


Figura 32. Diagrama de Pareto, bomba Putzmeister, periodo enero a julio, Nv 1770

De acuerdo con el análisis de Pareto en las bombas Putzmeister durante el periodo de estudio de enero a julio, considera una pérdida de tiempo total de 18.50 horas. El total del 20 % de actividades que representa el 80% de problemas indican las siguientes actividades: equipo inoperativo, falla de energía/caída de energía y simultaneidad considerando un total de pérdidas operacionales en 17.50 horas.

Tabla 17. Resumen de actividades – bomba Putzmeister, Nv 1770

RESUMEN DE ACTIVIDADES - EQUIPO PUTZMEISTER			
PÉRDIDA DE TIEMPO: ENERO A JULIO			
ACTIVIDAD	TIEMPO (HRS)	INCIDENCIA (%)	METROS PERDIDOS
EQUIPO INOPERATIVO	10.0	54.05%	300
FALTA DE ENERGIA/CAIDA DE TENSION	7.5	40.54%	225
SIMULTANEIDAD	1.0	5.41%	30
TOTAL GENERAL	18.50	100%	555

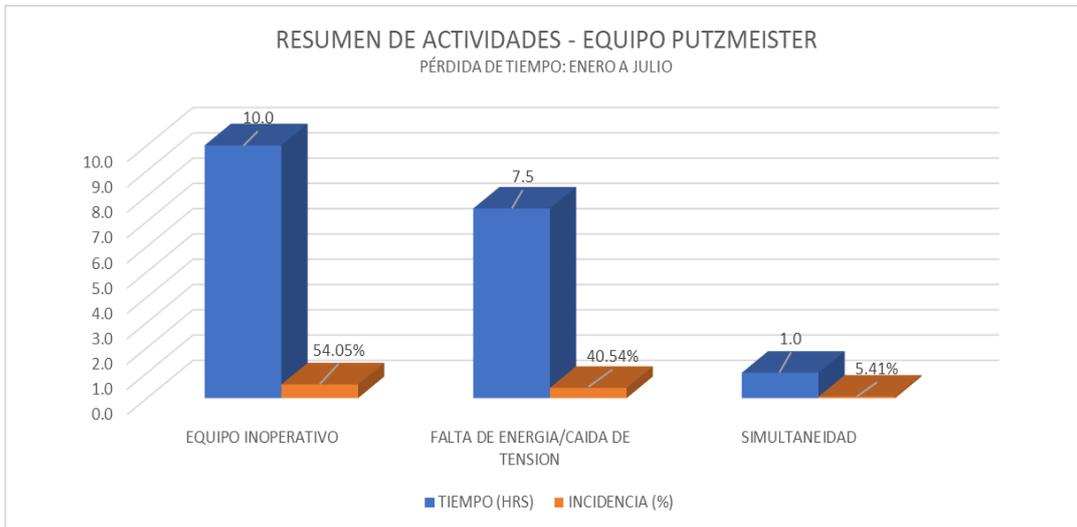


Figura 33. Resumen de actividades, bomba Putzmeister, Nv 1770

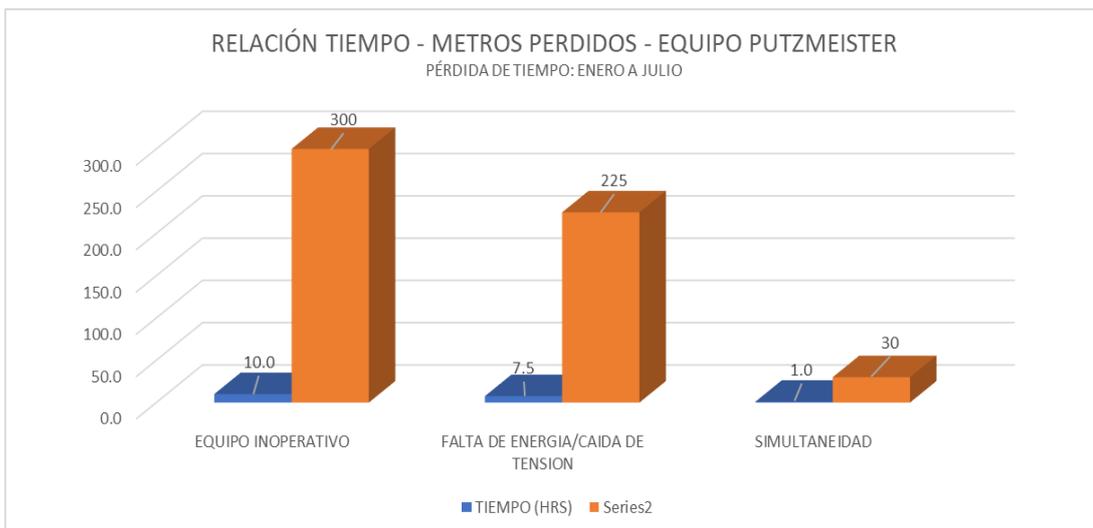


Figura 34. Relación tiempo, metros perdidos en bomba Putzmeister Nv 1770

De acuerdo con las principales actividades identificadas por la herramienta de Pareto considera las siguientes incidencias relacionadas con la influencia en la pérdida de tiempo operacional y metros perdidos: equipo inoperativo con incidencia

del 54.05 %, con 10.0 horas y 300 metros perdidos; falta de energía/caída de tensión con incidencia del 40.54 %, con 7.5 horas y 225 metros perdidos y simultaneidad con incidencia del 5.41 %, con 1.0 horas y 30 metros perdidos.

El análisis realizado durante el periodo de enero a junio en bombas Putzmeister indica una pérdida de tiempo total de 18.50 horas, considerando las 2 principales actividades que inciden en el rendimiento en la instalación de cable bolting (metros cableados e inyectados): equipo inoperativo y falta de energía/caída de tensión, considerando una pérdida de tiempo en 17.5 horas, con incidencia del 94.59 % y 525 metros perdidos.

2.9 Análisis económico de cable bolting

Al realizar el análisis de los metros perforados, cableados e inyectados para la instalación de cable bolting se considera el análisis de las diferentes actividades mediante la herramienta de Pareto y su incidencia en los metros y tiempos perdidos.

Las variables analizadas en la instalación del cable bolting, considerando los equipos analizados como el Cabolt, Raptor y Bomba Putzmeister, definieron los costos asociados.

a) Análisis económico de equipo Cabolt

El análisis de costos por metro perdido de los equipos Raptor de acuerdo con el análisis de Pareto, considerando las diferentes actividades relacionados a los metros perdidos por actividad, los cuales fueron analizadas incluyen: equipo inoperativo, falla mecánica, , simultaneidad, falta de marcado, trabajo simultáneo, condición subestándar, traslado de equipo, falla eléctrica, falta de energía/caída de tensión, falta de agua y falta de energía.

Tabla 18. Costo de metros perdidos – equipo Cabolt, Nv 1770

COSTO METROS PERDIDOS - EQUIPO CABOLT			
PÉRDIDA DE TIEMPO: ENERO A JULIO			
ACTIVIDAD	TIEMPO (HRS)	METROS PERDIDOS	COSTO (US\$/m)
EQUIPO INOPERATIVO	12.33	370	5,492
FALLA MECANICA	7.50	225	3,340
FALLA MECANICA	7.17	215	3,191
SIMULTANEIDAD	6.00	180	2,672
FALTA DE MARCADO	4.00	120	1,781
TRABAJO SIMULTANEO	4.00	120	1,781
CONDICION SUBESTANDAR	4.00	120	1,781
TRASLADO DE EQUIPO	3.50	105	1,559
FALLA ELECTRICA	3.00	90	1,336
FALTA DE ENERGIA/CAIDA DE TENSION	3.00	90	1,336
FALTA DE AGUA	2.00	60	891
FALTA DE ENERGIA	2.00	60	891
TOTAL GENERAL	58.50	1,755	26,051

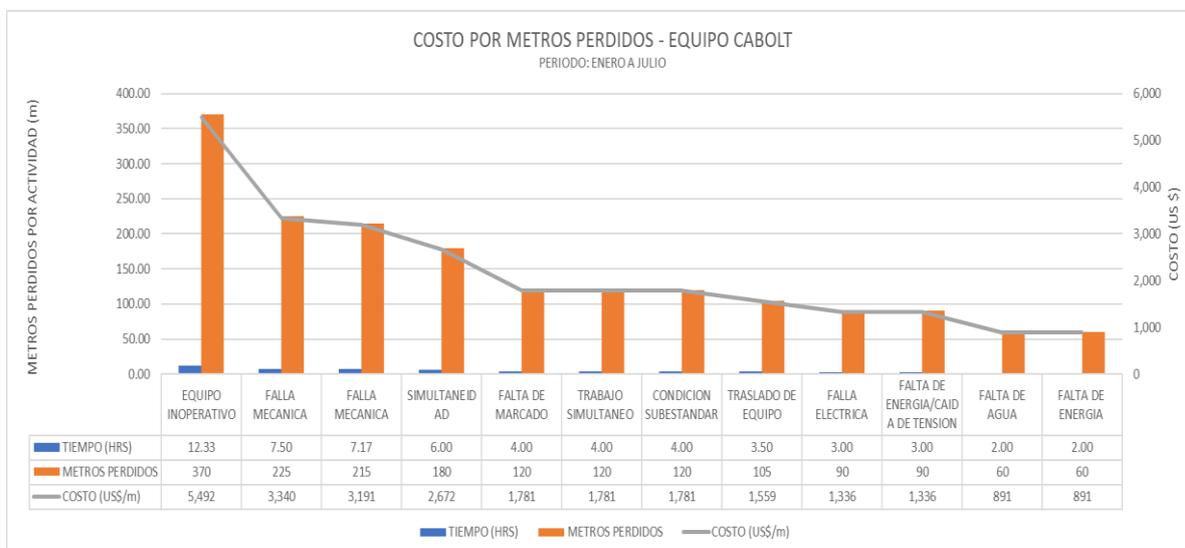


Figura 35. Costo por metro perdido, equipo Cabolt

La pérdida de tiempo total analizada en las diferentes actividades de Pareto fue de 58.50 horas, considerando un total de 1,755 metros perdidos y un precio unitario de instalación de cable bolting de 14.84 \$/m, se asume un costo adicional de 26,051 \$ por los periodos enero a julio.

b) Análisis económico de equipo Raptor

El análisis de costos por metro perdido de los equipos Raptor de acuerdo con el análisis de Pareto, considerando las diferentes actividades relacionadas a los metros perdidos por actividad, incluye: equipo inoperativo, falta de energía/caída

de tensión, simultaneidad, falla mecánica, traslado de equipo, falta/baja presión de agua y falla mecánica.

Tabla 19. Costo de metros perdidos – equipo Raptor, Nv 1770

COSTO METROS PERDIDOS - EQUIPO RAPTOR			
PÉRDIDA DE TIEMPO: ENERO A JULIO			
ACTIVIDAD	TIEMPO (HRS)	METROS PERDIDOS	COSTO (US\$/m)
EQUIPO INOPERATIVO	9.75	292.5	4,342
FALTA DE ENERGIA/CAIDA DE TENSION	5.67	170	2,523
SIMULTANEIDAD	5.08	152.5	2,264
FALLA MECANICA	5.00	150	2,227
TRASLADO DE EQUIPO	4.50	135	2,004
FALTA/BAJA PRESION DE AGUA	3.00	90	1,336
FALLA MECANICA	1.25	37.5	557
TOTAL GENERAL	34.25	1,028	15,252

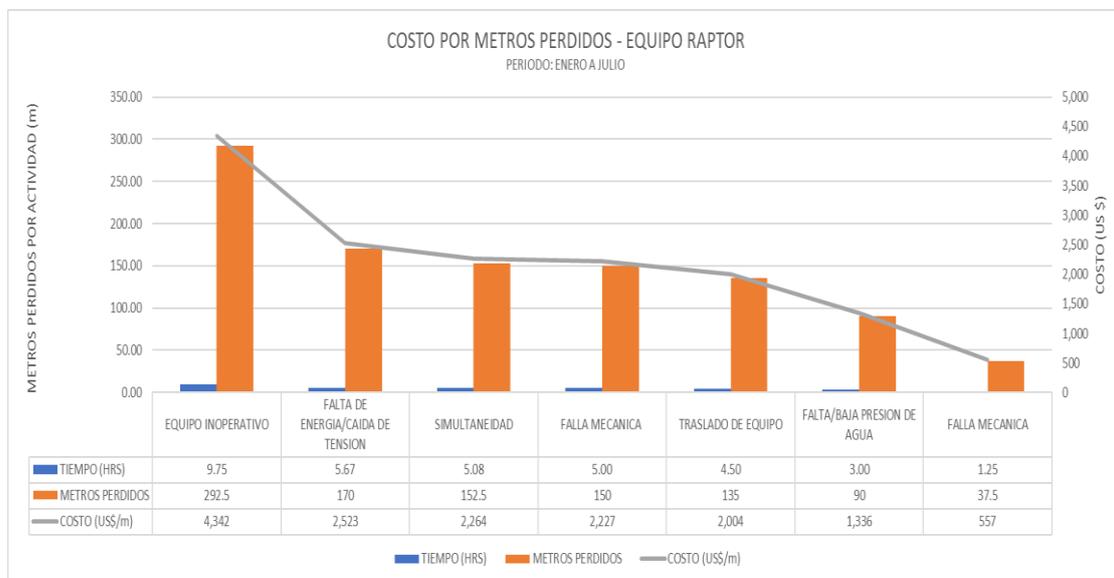


Figura 36. Costo por metro perdido, equipo Raptor

La pérdida de tiempo total analizada en las diferentes actividades de Pareto fue de 34.25 horas, considerando un total de 1,028 metros perdidos y un precio unitario de instalación de cable bolting de 14.84 \$/m, se asume un costo adicional de 15,252 \$ por los periodos enero a julio.

c) Análisis económico de equipo Putzmeister

El análisis de costos por metro perdido de las bombas Putzmeister de acuerdo con el análisis de Pareto, considerando las diferentes actividades relacionados a

los metros perdidos incluyen: equipo inoperativo, falta de energía/caída de tensión y simultaneidad.

Tabla 20. Costo de metros perdidos – bomba Putzmeister, Nv 1770

COSTO METROS PERDIDOS - BOMBA PUTZMEISTER			
PÉRDIDA DE TIEMPO: ENERO A JULIO			
ACTIVIDAD	TIEMPO (HRS)	METROS PERDIDOS	COSTO (US\$/m)
EQUIPO INOPERATIVO	10.0	300	4,453
FALTA DE ENERGIA/CAIDA DE TENSION	7.5	225	3,340
SIMULTANEIDAD	1.0	30	445
TOTAL GENERAL	18.50	555	8,238

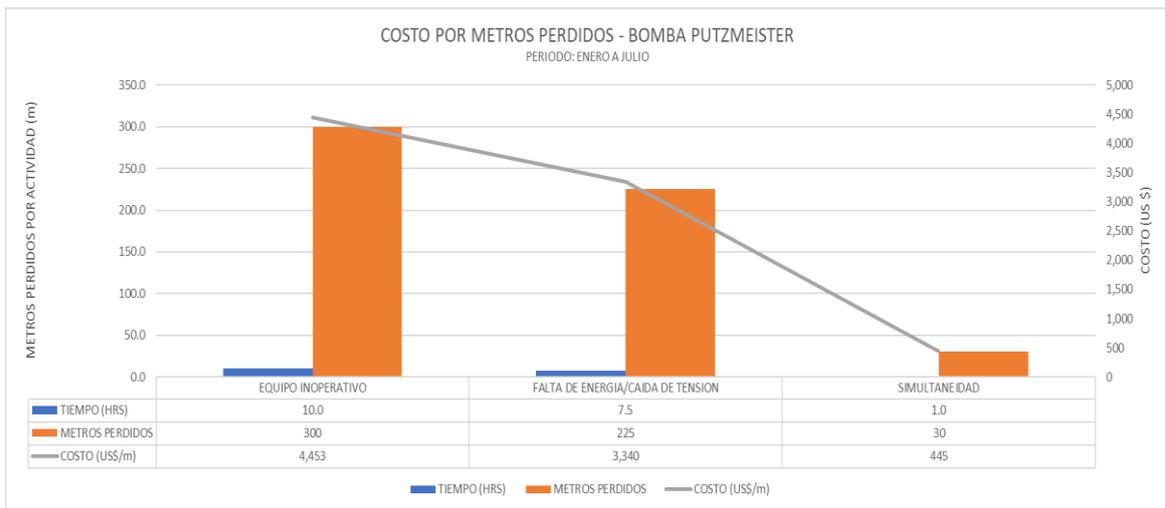


Figura 37. Costo por metro perdido, bomba Putzmeister

La pérdida de tiempo total analizada en las diferentes actividades de Pareto fue de 18.50 horas, considerando un total de 555 metros perdidos y un precio unitario de instalación de cable bolting de 14.84 \$/m, se asume un costo adicional de 8,238 \$ por los periodos enero a julio.

2.10 Análisis de validación de la hipótesis

El presente trabajo de investigación permitió realizar el análisis de la implementación del equipo Cabolt DS421 con la finalidad de la mejora del sostenimiento con cable bolting en el nivel Nv 1770 OB6 de la unidad minera Cerro Lindo. Por tal motivo, se realizó un análisis comparativo con los equipos Raptor y bombas Putzmeister durante el periodo de enero a junio considerando los metros perforados, cableados e inyectados. Así, se identificó las diferentes actividades

asociadas a los equipos Cabolt, Raptor y bomba Putzmeister y su incidencia en la pérdida de metros perforados por actividad considerando finalmente los costos asociados en la instalación de cable bolting.

a) Análisis de los metros perforados, cableados e inyectados

De acuerdo con el análisis de los metros perforados considerando la comparación de los equipos Cabolt con los equipos Raptor se determinó la incidencia de la productividad en la mejora del sostenimiento con cable bolting.

Tabla 21. Análisis comparativo de metros perforados, equipo Cabolt y Raptor

ANÁLISIS COMPARATIVO DE METROS PERFORADOS			
EQUIPOS CABOLT - RAPTOR			
PERIODO	CABOLT	RAPTOR	
MES	METROS PERFOR.	METROS PERFOR.	DIFERENCIA m
ENERO	335	445	110
FEBRERO	891	200	-691
MARZO	585	748	163
ABRIL	140	909	769
MAYO	521	327	-194
JUNIO	577	784	207
JULIO	472	2,072	1,600
TOTAL/PROM	3,521	5,485	1,964

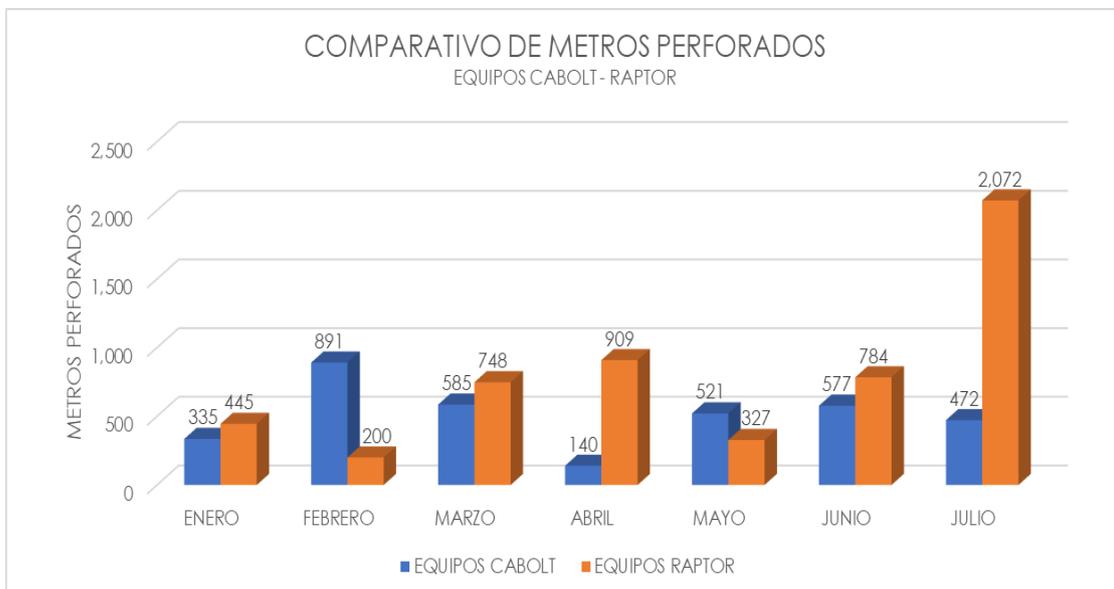


Figura 38. Comparativo de metros perforados Cabolt y Raptor

Durante el estudio se comparó los metros perforados entre los equipos Cabolt DS421 con los equipos Raptor, observándose un mejor rendimiento en metros perforados por los equipos Raptor considerado como 5,485 metros y comparado con los equipos Cabolt DS421 con 3,521 metros perforados. Este mejor rendimiento genera un incremento de 1,964 metros con equipos Raptor.

Durante el análisis de los resultados del presente estudio solo en los meses de febrero y mayo, los metros perforados con equipos Cabolt fue mayor que el equipo Raptor con valores de 891 y 200 metros, y 521 y 327 metros respectivamente. Mientras que en los meses de enero, marzo, abril, junio y julio los metros perforados fueron mayores con los equipos Raptor.

El rango de metros perforados en equipos Cabolt fueron de 140 a 891 metros y en los equipos Raptor están en el rango de 200 a 2,072 metros perforados.

La automatización en la instalación de cable bolting, mediante el uso del equipo Cabolt DS421 para la perforación e inyección de cemento, optimiza el tiempo en metros perforados, cableados e inyectados. En el caso tradicional se perfora con el equipo Raptor XP55, el cableado e inyectado se realiza con un manipulador telescópico y bomba Putzmeister, lo que generó un mejor escenario mediante el uso de equipos Raptor.

b) Análisis de tiempos y metros perdidos

El análisis de tiempo y metros perdidos, los que fueron relacionados a las diferentes actividades asociadas a los equipos Cabolt, Raptor y bomba Putzmeister, considera la pérdida de tiempo, su incidencia y metros perdidos.

Tabla 22. Comparativo de tiempo y metros perforados en Cabolt, Raptor y Bomba Putzmeister

COMPARATIVO DE TIEMPO - METROS PERDIDOS		
EQUIPOS: CABOLT - RAPTOR - BOMBA PUTZMEISTER		
EQUIPOS	TIEMPO (HRS)	METROS PERDIDOS
CABOLT	58.50	1,755
RAPTOR	34.25	1,028
BOMBA PUTZMEISTER	18.50	555
TOTAL GENERAL	111.25	3,338

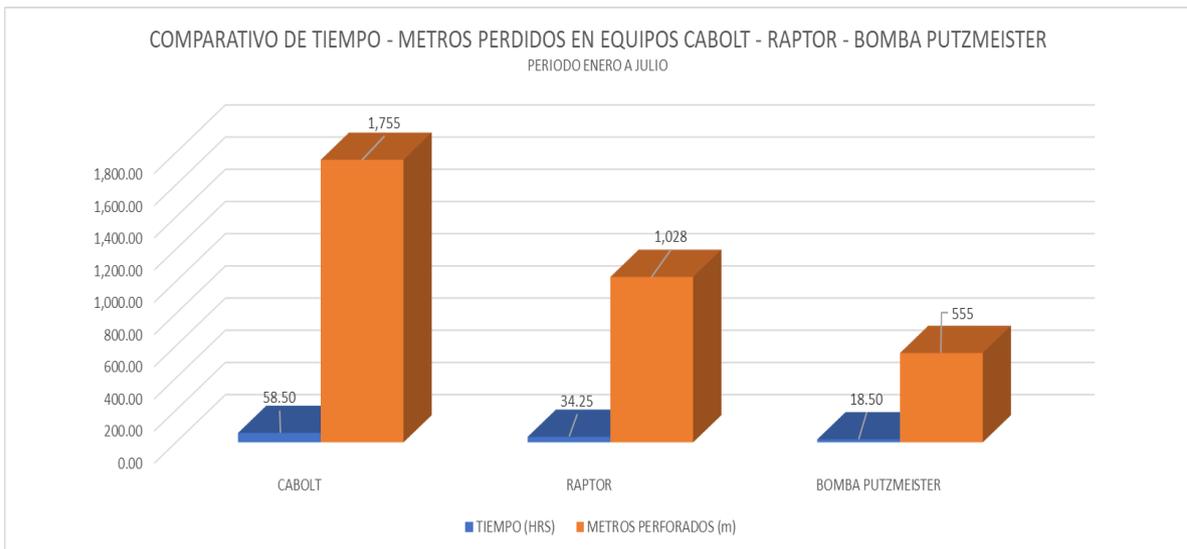


Figura 39. Comparativo de tiempo y metros perdidos

En relación con el análisis en los equipos Cabolt, las 2 principales actividades que inciden en el rendimiento en la instalación de cable bolting han sido considerados: falla mecánica y equipo inoperativo, considerando una pérdida de tiempo en 27 horas, con incidencia del 46.2 % y 810 metros perdidos.

En relación con el análisis en los equipos Raptor, las 2 principales actividades que inciden en el rendimiento en la instalación de cable bolting han sido considerados: equipo inoperativo y falta de energía/caída de tensión, considerando una pérdida de tiempo en 15.42 horas, con incidencia del 45.0 1% y 462.5 metros perdidos.

En cuanto al análisis en las bombas Putzmeister, las 2 principales actividades que inciden en el rendimiento en la instalación de cable bolting (metros cableados

e inyectados) han sido considerados: equipo inoperativo y falta de energía/caída de tensión, considerando una pérdida de tiempo en 17.5 horas, con incidencia del 94.59% y 525 metros perdidos.

c) Análisis económico en la instalación de Cable Bolting

Mediante la observación de los metros perforados, cableados e inyectados para la instalación de cable bolting, considerando las diferentes actividades asociadas mediante la herramienta de Pareto y su incidencia en los metros y tiempos perdidos, se realizó un análisis económico y su incidencia por equipo analizado durante el periodo de estudio

Tabla 23. Comparativo de costo por equipos, Cabolt, Raptor y Bomba Putzmeister

COMPARATIVO DE COSTO POR EQUIPOS: CABOLT - RAPTOR - PUTZMEISTER			
PERIODO: ENERO A JULIO			
ACTIVIDAD	TIEMPO (HRS)	METROS PERDIDOS	COSTO (US\$/m)
CABOLT	58.50	1,755	26,051
RAPTOR	34.25	1,028	15,252
BOMBA PUTZMEISTER	18.50	555	8,238
TOTAL GENERAL	111.25	3,338	49,542

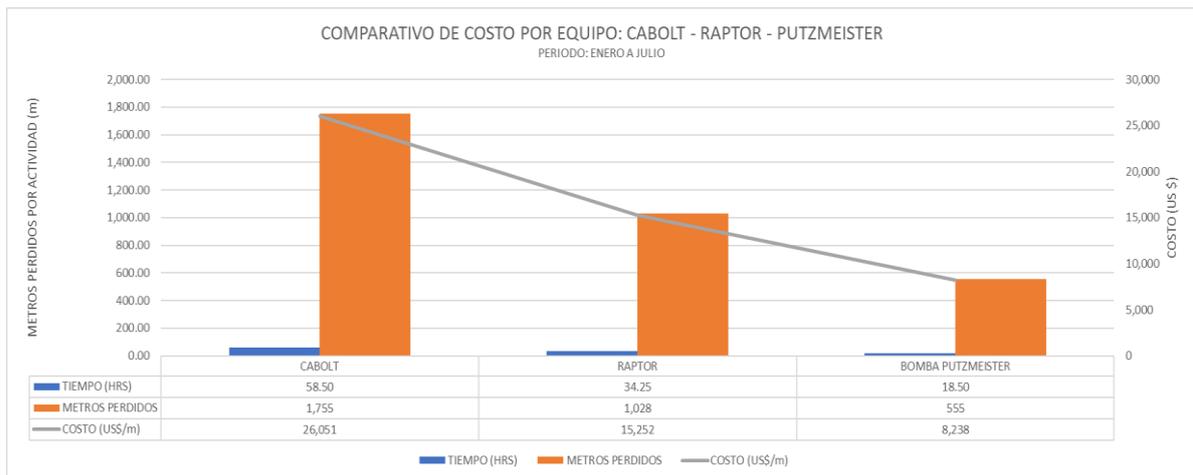


Figura 40. Comparativo de costo, equipo Cabolt y Raptor, Nv 1770

El análisis económico para los equipos Cabolt considera la pérdida de tiempo total analizada en las diferentes actividades de Pareto que fue de 58.50 horas, considerando un total de 1,755 metros perdidos y un precio unitario de instalación

de cable bolting de 14.84 \$/m, se asume un costo adicional de 26,051 \$ por los periodos enero a julio.

El análisis económico para los equipos Raptor considera la pérdida de tiempo total analizada en las diferentes actividades de Pareto, la que fue de 34.25 horas, considerando un total de 1,028 metros perdidos y un precio unitario de instalación de cable bolting de 14.84 \$/m, se asume un costo adicional de 15,252 \$ por los periodos enero a julio.

El análisis económico para la bomba Putzmeister considera la pérdida de tiempo total analizada en las diferentes actividades de Pareto, la que fue de 18.50 horas, considerando un total de 555 metros perdidos y un precio unitario de instalación de cable bolting de 14.84 \$/m, se asume un costo adicional de 8,238 \$ por los periodos enero a julio.

Tabla 24. Comparativo de costo por escenario: Cabolt y Raptor - Bomba Putzmeister

COMPARATIVO DE COSTO POR ESCENARIO: CABOLT Y RAPTOR - PUTZMEISTER			
PERIODO: ENERO A JULIO			
ACTIVIDAD	TIEMPO (HRS)	METROS PERDIDOS	COSTO (US\$/m)
ESCENARIO CABOLT - ACTUAL	58.50	1,755	26,051
ESCENARIO RAPTOR - BOMBA PUTZMEISTER	52.75	1,583	23,491
DIFERENCIA	5.75	172.50	2,561

El análisis económico de implementación de los equipos Cabolt DS421 comparado con el escenario anterior Raptor – Bomba Putzmeister genera una diferencia de menores tiempo en 5.75 horas, con menores metros perdidos en 172.5 metros y un menor costo de 2,560 \$ a favor del escenario anterior.

Finalmente, el análisis comparativo entre los equipos Cabolt y Raptor – bomba Putzmeister considera un mejor rendimiento en el segundo escenario, pero si se corrigen las diferentes actividades identificadas en Pareto como: equipo inoperativo, falla mecánica, simultaneidad y falta de marcado, etc., el uso de los equipos Cabot tendrá mejor rendimiento, mejorando las condiciones adecuadas de operación, mayor seguridad, reduciendo la exposición de personal, reduciendo costos, etc.

CONCLUSIONES

1. El presente trabajo de investigación permitió realizar el análisis de la implementación del equipo Cabolt DS421, con la finalidad de la mejora del sostenimiento con cable bolting en el nivel Nv 1770 OB6 de la unidad minera Cerro Lindo. Por tal motivo, se realizó un análisis comparativo con los equipos Raptor y bombas Putzmeister durante el periodo de enero a junio considerando los metros perforados, cableados e inyectados, así como sus actividades asociadas para determinar la pérdida de tiempo operacional y su costo asociado.
2. Durante el estudio se comparó los metros perforados entre los equipos Cabolt DS421 con los equipos Raptor, observándose un mejor rendimiento en metros perforados por los equipos Raptor que presenta 5,485 metros y comparado con los equipos Cabolt DS421 con 3,521 metros perforados. Este mejor rendimiento genera un incremento de 1,964 metros en los equipos Raptor.
3. Durante los meses de febrero y mayo los metros perforados con equipos Cabolt fue mayor que el equipo Raptor, mientras que en los meses de enero, marzo, abril, junio y julio los metros perforados fueron mayores con los equipos Raptor. El rango de metros perforados en equipos Cabolt fueron de 140 a 891 metros y en los equipos Raptor están en el rango de 200 a 2,072 metros perforados.
4. Si bien es cierto que la automatización en la instalación de cable bolting, mediante el uso del equipo Cabolt DS421 para la perforación e inyección de cemento, optimiza el tiempo en metros perforados, cableados e inyectados; en el caso tradicional se perfora con el equipo Raptor XP55, el cableado e inyectado se realiza con un manipulador Telescópico y bomba Putzmeister, para el presente estudio se genera un mejor escenario mediante el uso de equipos Raptor y Putzmeister.

5. El análisis de pérdida de tiempo en los equipos Cabolt considera las dos principales actividades que inciden en el rendimiento en la instalación de cable bolting: falla mecánica y equipo inoperativo, considerando una pérdida de tiempo en 27 horas, con incidencia del 46.2 % y 810 metros perdidos.
6. El análisis de pérdida de tiempo en los equipos Raptor considera las dos principales actividades que inciden en el rendimiento en la instalación de cable bolting: equipo inoperativo y falta de energía/caída de tensión, considerando una pérdida de tiempo en 15.42 horas, con incidencia del 45.01 % y 462.5 metros perdidos.
7. El análisis de pérdida de tiempo en las bombas Putzmeister considera las dos principales actividades que inciden en el rendimiento en la instalación de cable bolting (metros cableados e inyectados): equipo inoperativo y falta de energía/caída de tensión, considerando una pérdida de tiempo en 17.5 horas, con incidencia del 94.59 % y 525 metros perdidos.
8. El análisis económico para los equipos Cabolt indica la pérdida de tiempo total analizada en las diferentes actividades de Pareto en 58.50 horas, considerando un total de 1,755 metros perdidos y un precio unitario de instalación de cable bolting de 14.84 \$/m, se asume un costo adicional de 26,051 \$ por los periodos enero a julio.
9. El análisis económico para los equipos Raptor indica la pérdida de tiempo total analizada en las diferentes actividades de Pareto en 34.25 horas, considerando un total de 1,028 metros perdidos y un precio unitario de instalación de cable bolting de 14.84 \$/m, se asume un costo adicional de 15,252 \$ por los periodos enero a julio.
10. El análisis económico para la bomba Putzmeister indica la pérdida de tiempo total analizada en las diferentes actividades de Pareto en 18.50 horas, considerando un total de 555 metros perdidos y un precio unitario de instalación

de cable bolting de 14.84 \$/m, se asume un costo adicional de 8,238 \$ por los periodos enero a julio.

11. El análisis económico de implementación de los equipos Cabolt DS421 comparado con el escenario anterior Raptor – Bomba Putzmeister genera una diferencia de menores tiempo en 5.75 horas, con menores metros perdidos en 172.5 metros y un menor costo de 2,560 \$ a favor del escenario anterior.
12. Finalmente, el análisis comparativo entre los equipos Cabolt y Raptor – bomba Putzmeister considera un mejor rendimiento en el segundo escenario, pero si se corrigen las diferentes actividades identificadas en Pareto como: equipo inoperativo, falla mecánica, simultaneidad y falta de marcado, etc., el uso de los equipos Cabot tendrá mejor rendimiento, mejorando las condiciones adecuadas de operación, mayor seguridad, reduciendo la exposición de personal, reduciendo costos, etc.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar estudios similares en otros sectores de la operación y así definir con exactitud el rendimiento real de los equipos Cabolt DS421.
2. Así mismo, es imprescindible realizar un estudio detallado de la disponibilidad de los equipos Cabolt DS421 considerando su fecha de adquisición, las horas operacionales del equipo y definir los costos horarios reales.
3. Se recomienda realizar un análisis de la utilización de los equipos Cabolt DS421 con la finalidad de determinar las horas efectivas operacionales y determinar las diferentes actividades que influyen a la pérdida de tiempo operacional.
4. Se recomienda realizar un análisis detallado del sostenimiento con cable bolting en diferentes labores de producción y relacionar con la sobrerotura asociada o control de la dilución.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. RASEKH, H. The shear performance of cable bolts in experimental, numerical and mathematical studies. Tesis (Doctor of Philosophy). Australia: Universidad de Wollongong, 2017, 334 pp.
2. LI, X. Study of cable bolt shear strength characteristics for ground reinforcement in mines. Tesis (Doctor of Philosophy). Australia: Universidad de Wollongong, 2017, 293 pp.
3. AQUILINO, M. Geomecanica aplicada en la prevención de pérdidas por caída de rocas, Mina Huanzala, Minera Santa Lucia. Tesis (Maestro en Ciencias con Mencion en Seguridad y Salud Minera). Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, 2008, 154 pp.
4. SAMANIEGO, J. Estudio geomecanico para el dimensionamiento, secuencia y relleno de los tajeos de la mina Cerro Lindo. Informe técnico. SRK Consulting. Lima, 2014.
5. MUCHA, A. Aplicación de cable bolting como reforzamiento del sostenimiento para poder estabilizar al macizo rocoso, en la unidad de producción Carahuacra – Compañía Minera Volcan S.A.A. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Cerro de Pasco: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, 2019, 70 pp.
6. UNIDAD MINERA CERRO LINDO. *Informes internos del periodo 2023.*

ANEXOS

Anexo 1

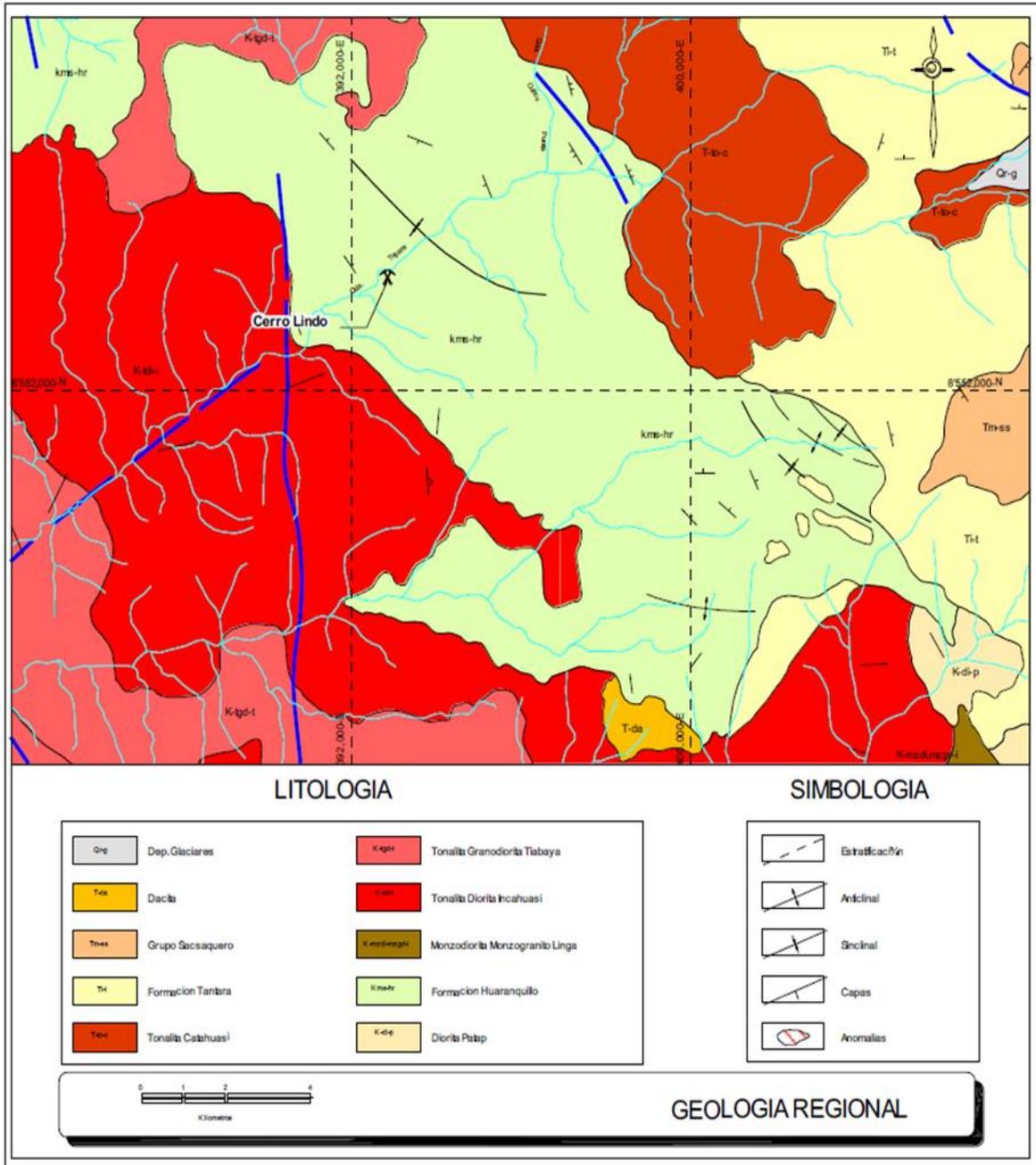
Matriz de operacionalización de variables

Tabla 1. *Tabla de matriz de operacionalización de variable*

Variables	Definición Conceptual	Definición operacional		
		Dimensiones	Sub-Dimensiones	Indicadores
VI: Aplicación de cable bolting con equipo Cabolt DS421	El uso de equipos automatizados como el Cabolt DS421 permite la reducción de tiempo de instalación de cable bolting, mejora la seguridad y reduce costos de operación.	<ul style="list-style-type: none"> • Condiciones Geológicas • Condiciones Geomecánicas • Condiciones de Operación 	<ul style="list-style-type: none"> Variables geológicas Variables geomecánicas Indicadores de operación 	<ul style="list-style-type: none"> Litología, intensidad de alteración, leyes, etc. RQD, RMR, GSI, etc. del macizo rocoso. Metros perforados, cableados e inyectados.
VD: Análisis de los metros perforados, cableados e inyectados, pérdida de tiempo operacional, actividades y costos asociados al sostenimiento con cable bolting.	Al analizar los metros perforados, cableados e inyectados con cable bolting, permitirá definir el rendimiento de los equipos Cabolt y Raptor.	<ul style="list-style-type: none"> • Parámetros operacionales en equipos Cabolt y Raptor. • Parámetros económicos. 	<ul style="list-style-type: none"> Cumplimiento de instalación de cable bolting en el Nv 17170. Rendimiento de equipos Cabolt, Raptor y bomba Putzmeister. 	<ul style="list-style-type: none"> Producción, tiempo de acarreo, actividades unitarias de acarreo, etc. Costos asociados a los metros perdidos en equipos Cabolt, Raptor y bomba Putzmeister.

Anexo 2

Planos en planta y perfil



**Figura 2. Geología regional de la UM Cerro Lindo
Tomada del Área de Geología**

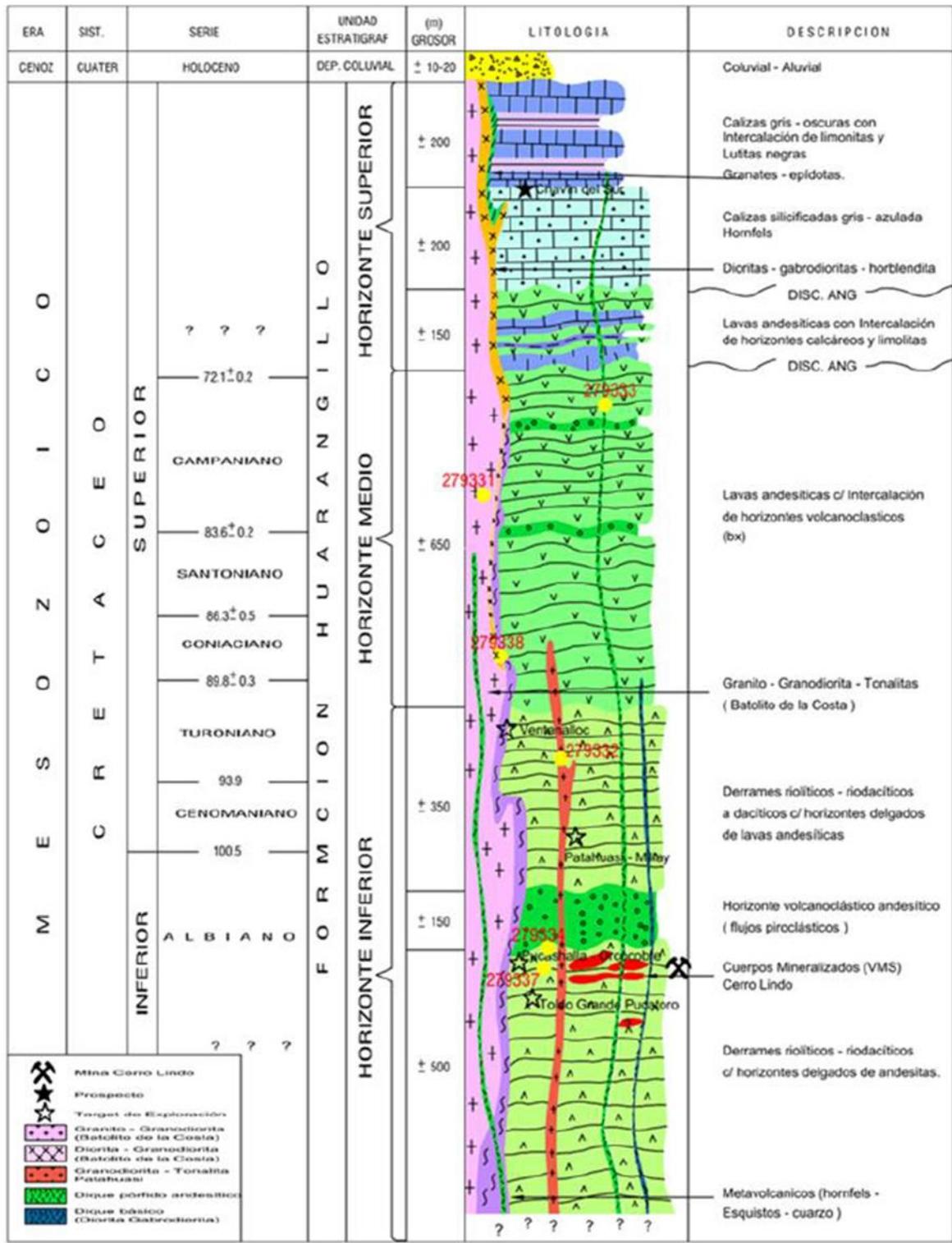
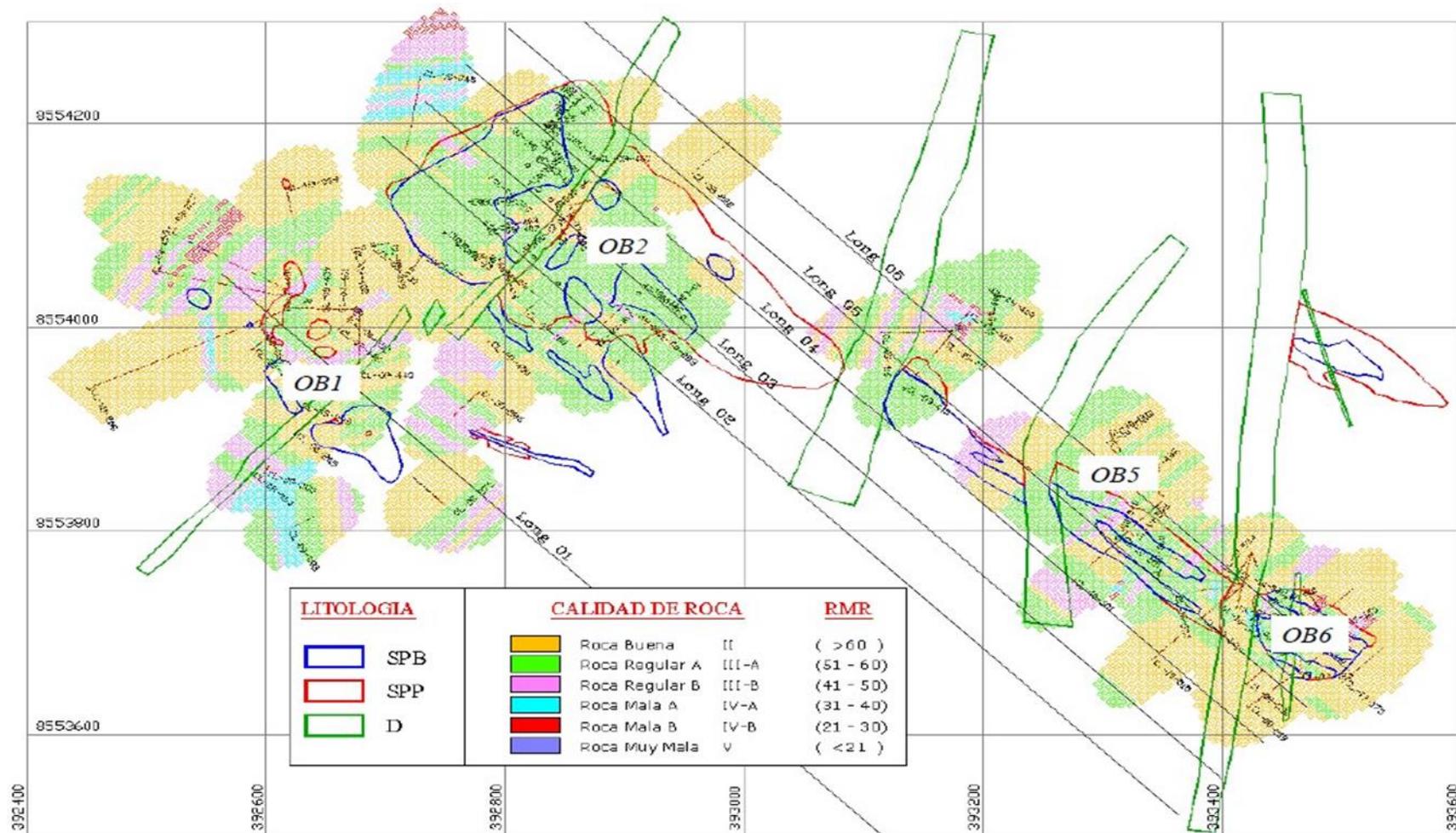
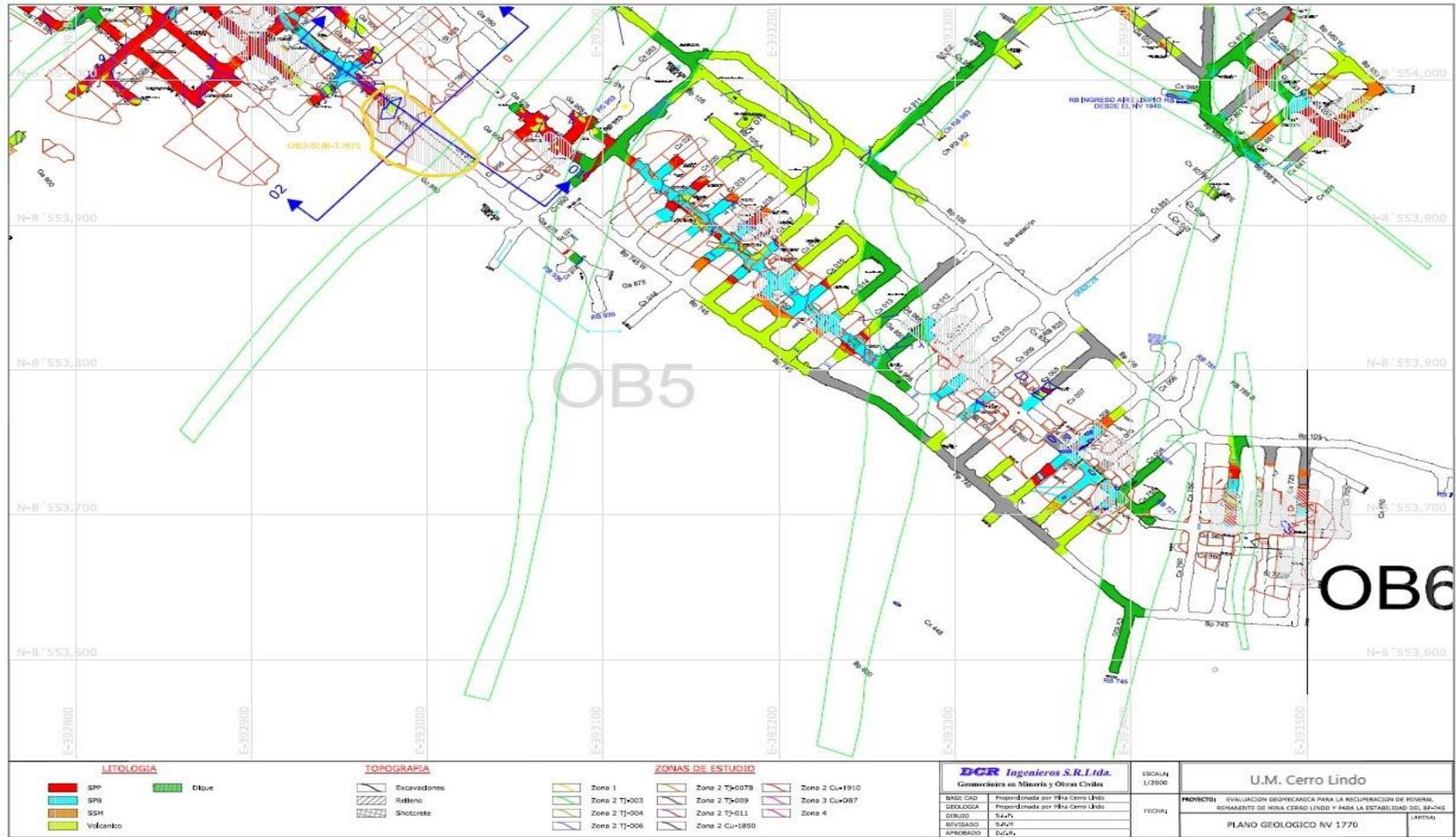


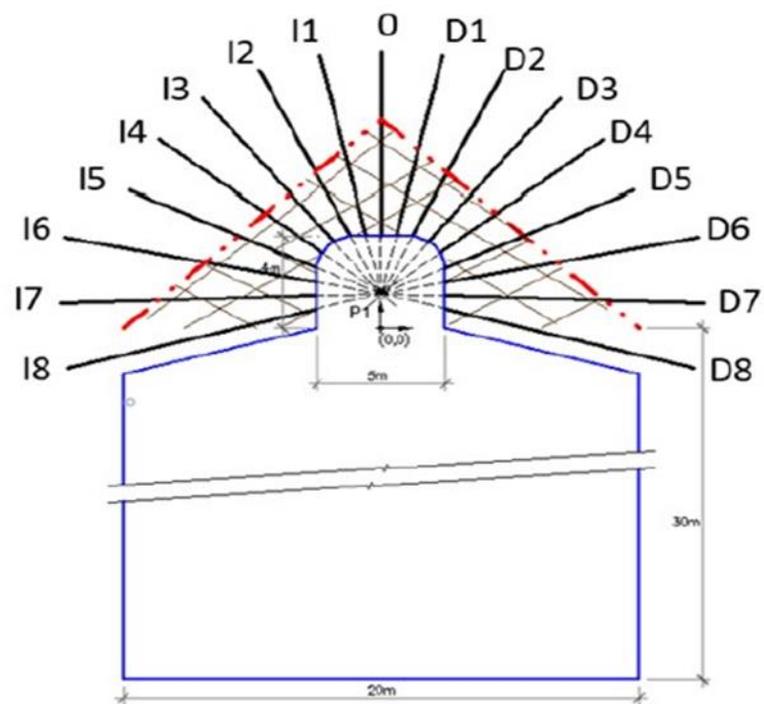
Figura 3. Estratigrafía de la UM Cerro Lindo Tomada del Área de Geología



**Figura 4. Zonificación geomecánica de mina Cerro Lindo.
Tomada del Área de Gemecánica**

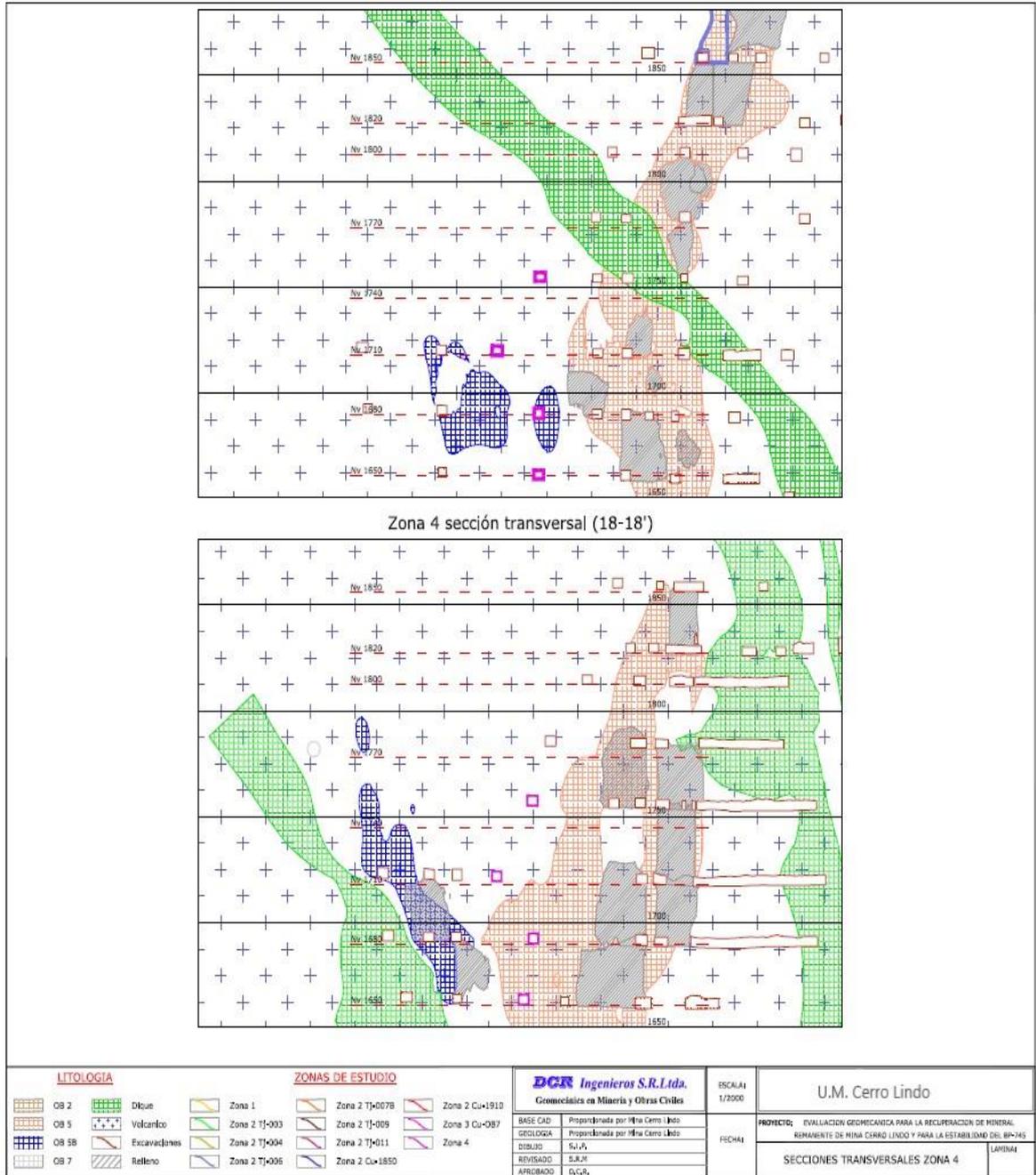


**Figura 4.1 Zonificación geomecánica, Nv 1770, mina Cerro Lindo.
Tomada del Área de Gemecánica**



PUNTO DE INICIO EN LA SECCIÓN DE LA GALERÍA					
CABLE	X(m)	Y(m)	PUNTO DE CONVERGENCIA	ÁNGULO (°)	Long. Cable (m)
I8	0	1.5	P1	-15.00	10
I7	0	1.5	P1	-1.87	10
I6	0	1.5	P1	11.25	10
I5	0	1.5	P1	24.37	8
I4	0	1.5	P1	37.50	8
I3	0	1.5	P1	50.62	8
I2	0	1.5	P1	63.75	8
I1	0	1.5	P1	76.87	8
0	0	1.5	P1	90	8
D1	0	1.5	P1	76.87	8
D2	0	1.5	P1	63.75	8
D3	0	1.5	P1	50.62	8
D4	0	1.5	P1	37.50	8
D5	0	1.5	P1	24.37	8
D6	0	1.5	P1	11.25	10
D7	0	1.5	P1	-1.87	10
D8	0	1.5	P1	-15.00	10

**Figura 8. Esquema de diseño de Cable Bolting en el techo de tajeos, OB5 – OB6.
Tomada del Área de Gemecánica**



**Figura 9. Sección transversal, zona 4
Tomada del Área de Gemecánica**

Anexo 3 tablas y fichas

INCIMMET										REPORTE DE OPERACIÓN DE EQUIPOS: CABOLT									
EMPRESA		INCHOMET		FECHA		03-12-22		HONORIMETRO		DIESEL		PERCUSIÓN		ELÉCTRICO		COMPRESOR		COMBUSTIBLE (Gal.)	
UNIDAD		CENRO LIMCO		GUARDIA		D		INICIAL		106.4		266.5		246.5		246.5		LONG. BARRA (pies)	
EQUIPO (N°)		Cabolt		TURNO		Día		FINAL		168.8		264.5		244.3		244.3		DIAM. BROCA (mm.)	
OPERADOR					AYUDANTE					JEFE GUARDIA									
A. Ventera					K. Duran					A. Alarcon									
N°	HORA INICIO	HORA FINAL	ACTIVIDAD	LABOR	NIVEL	MATERIAL	CANT. TALADROS	LONG. DE PERFORAC.	CANT. DE FRAS	BARRAS POR TALADRO	CANT. TALADROS CARGADOS	CANT. TALADRO INECTADO	BOLSAS DE CONTENID.	OBSERVACIÓN					
1	6:00	7:15	201	Riesgos críticos															
2	7:15	8:00	200																
3	8:00	8:05	202	401															
4	8:05	8:50		Equipos moviéndose															
5	8:50	8:55	203	401															
6	8:55	9:00	204-205																
7	9:00	9:40	113	0002	1770	005	5	9mts 1/2											
8	9:40	10:15	401	Rotura de manguera #8										(solo se puentes de este estandarizado)					
9	10:15	10:05	113	0002	1770	005	6	9mts 1											
10	10:05	12:47	309	(Caída de tensión)															
11	12:47	3:00	309	se para el equipo por orden de NEXA por caída de tensión															
12	3:00	5:00	401	(por el supervisor de NEXA TRUJILLO)															
13																			
14																			
15																			
16																			
17																			
18																			
19																			
20																			
UBICACIÓN DEL EQUIPO		NU 1770 x 002		OBSERVACIONES		<p>→ La bomba hidráulica tiene un sonido diferente al momento de arranque</p> <p>→ El equipo debe frenarse cuando hay caída y sobre-tensión y eso no está pasando.</p>													
FIM DE GUARDIA		CK																	
Operador (Firma y Nombre)					Supervisor / Jefe de Guardia (Firma y Nombre)					Mantenimiento (Firma y Nombre)									

Figura 11. Reporte de operación de cable bolting 03-12-22
Tomada del Área de Gemecánica

INCIMMET

REPORTE DE OPERACIÓN DE EQUIPOS: CABOLT

UNIDAD: CERRO LIMCO
 OPERADOR: RAFAEL FLORES
 AYUDANTE: SANAMPA
 JEFE GUARDIA: ORLANDO UMACHO

EMPRESA	INCIMMET	FECHA	04-12-22	NORÓMETRO	DIESEL	PERCUSIÓN	ELECTRICO	COMPRESOR	COMBUSTIBLE (Gal)
UNIDAD	CERRO LIMCO	GUARDIA	13	INICIAL		113.0	279.7	259.3	LONG. BARRA (pies)
EQUIPO (N°)	PS421	TURNO	NOCHE	FINAL		114.3	286.9	266.5	DIAM. BROCA (mm)

OPERADOR: RAFAEL FLORES AYUDANTE: SANAMPA JEFE GUARDIA: ORLANDO UMACHO

N°	ACTIVIDAD			DETALLE	LABOR		MATERIAL	CANT. TALADROS PERFORADOS	LONG. DE PERFORAC.	CANT. DE FILAS	BARRAS POR TALADRO	CANT. TALADROS CABEADOS	CANT. TALADRO INYECTADO	REBAS DE CEMENTO	OBSERVACIÓN
	HORA INICIO	HORA FINAL	GRADOS DE ACTIVIDAD		LABOR	NIVEL									
1	6:45	7:00	200												
2	7:00	7:40	201												
3	7:40	7:50	202												
4	7:50	8:30	203												
5	8:30	8:40	204												
6	8:40	8:50	205												
7	8:50	9:30	401	SG CAMBIO			COPO DE PERCUSIÓN								
8	9:30	10:20	117				CO90 1340	9			SMT				OK
9	10:20	11:30	401	SG PARO POR ROTURA DE MANGUERA				8			SMT				
10	11:30	12:20	117				CO90 1340	8			SMT				
11															
12	12:20	1:00	207												
13	1:00	2:30	129												
14	2:30	3:20	130								26 TALADROS DE 5MT				
15	3:20	5:00	127								21 TALADROS DE 9MT				
15	5:00	5:30	210												
17															
18															
19															
20															

UBICACION DEL EQUIPO: FIN DE GUARDIA: 1340 - CO90

OBSERVACIONES:

Operador (Firma y Nombre): *Rafael Flores*

Supervisor / Jefe de Guardia (Firma y Nombre): *Sanampa*

Mantenimiento (Firma y Nombre): *Orlando Umacho*

ACTIVIDADES OPERATIVAS	
115	Instalación de cables en la bodega
116	Prueba de tensión de cables en bodega
117	Prueba de tensión de cables en bodega
118	Prueba de tensión de cables en bodega
119	Prueba de tensión de cables en bodega
120	Prueba de tensión de cables en bodega
121	Prueba de tensión de cables en bodega
122	Prueba de tensión de cables en bodega
123	Prueba de tensión de cables en bodega
124	Prueba de tensión de cables en bodega
125	Prueba de tensión de cables en bodega
126	Prueba de tensión de cables en bodega
127	Prueba de tensión de cables en bodega
128	Prueba de tensión de cables en bodega
129	Prueba de tensión de cables en bodega
130	Prueba de tensión de cables en bodega
131	Prueba de tensión de cables en bodega
132	Prueba de tensión de cables en bodega
133	Prueba de tensión de cables en bodega
134	Prueba de tensión de cables en bodega
135	Prueba de tensión de cables en bodega
136	Prueba de tensión de cables en bodega
137	Prueba de tensión de cables en bodega
138	Prueba de tensión de cables en bodega
139	Prueba de tensión de cables en bodega
140	Prueba de tensión de cables en bodega
141	Prueba de tensión de cables en bodega
142	Prueba de tensión de cables en bodega
143	Prueba de tensión de cables en bodega
144	Prueba de tensión de cables en bodega
145	Prueba de tensión de cables en bodega
146	Prueba de tensión de cables en bodega
147	Prueba de tensión de cables en bodega
148	Prueba de tensión de cables en bodega
149	Prueba de tensión de cables en bodega
150	Prueba de tensión de cables en bodega
151	Prueba de tensión de cables en bodega
152	Prueba de tensión de cables en bodega
153	Prueba de tensión de cables en bodega
154	Prueba de tensión de cables en bodega
155	Prueba de tensión de cables en bodega
156	Prueba de tensión de cables en bodega
157	Prueba de tensión de cables en bodega
158	Prueba de tensión de cables en bodega
159	Prueba de tensión de cables en bodega
160	Prueba de tensión de cables en bodega
161	Prueba de tensión de cables en bodega
162	Prueba de tensión de cables en bodega
163	Prueba de tensión de cables en bodega
164	Prueba de tensión de cables en bodega
165	Prueba de tensión de cables en bodega
166	Prueba de tensión de cables en bodega
167	Prueba de tensión de cables en bodega
168	Prueba de tensión de cables en bodega
169	Prueba de tensión de cables en bodega
170	Prueba de tensión de cables en bodega
171	Prueba de tensión de cables en bodega
172	Prueba de tensión de cables en bodega
173	Prueba de tensión de cables en bodega
174	Prueba de tensión de cables en bodega
175	Prueba de tensión de cables en bodega
176	Prueba de tensión de cables en bodega
177	Prueba de tensión de cables en bodega
178	Prueba de tensión de cables en bodega
179	Prueba de tensión de cables en bodega
180	Prueba de tensión de cables en bodega
181	Prueba de tensión de cables en bodega
182	Prueba de tensión de cables en bodega
183	Prueba de tensión de cables en bodega
184	Prueba de tensión de cables en bodega
185	Prueba de tensión de cables en bodega
186	Prueba de tensión de cables en bodega
187	Prueba de tensión de cables en bodega
188	Prueba de tensión de cables en bodega
189	Prueba de tensión de cables en bodega
190	Prueba de tensión de cables en bodega
191	Prueba de tensión de cables en bodega
192	Prueba de tensión de cables en bodega
193	Prueba de tensión de cables en bodega
194	Prueba de tensión de cables en bodega
195	Prueba de tensión de cables en bodega
196	Prueba de tensión de cables en bodega
197	Prueba de tensión de cables en bodega
198	Prueba de tensión de cables en bodega
199	Prueba de tensión de cables en bodega
200	Prueba de tensión de cables en bodega
201	Prueba de tensión de cables en bodega
202	Prueba de tensión de cables en bodega
203	Prueba de tensión de cables en bodega
204	Prueba de tensión de cables en bodega
205	Prueba de tensión de cables en bodega
206	Prueba de tensión de cables en bodega
207	Prueba de tensión de cables en bodega
208	Prueba de tensión de cables en bodega
209	Prueba de tensión de cables en bodega
210	Prueba de tensión de cables en bodega
211	Prueba de tensión de cables en bodega
212	Prueba de tensión de cables en bodega
213	Prueba de tensión de cables en bodega
214	Prueba de tensión de cables en bodega
215	Prueba de tensión de cables en bodega
216	Prueba de tensión de cables en bodega
217	Prueba de tensión de cables en bodega
218	Prueba de tensión de cables en bodega
219	Prueba de tensión de cables en bodega
220	Prueba de tensión de cables en bodega
221	Prueba de tensión de cables en bodega
222	Prueba de tensión de cables en bodega
223	Prueba de tensión de cables en bodega
224	Prueba de tensión de cables en bodega
225	Prueba de tensión de cables en bodega
226	Prueba de tensión de cables en bodega
227	Prueba de tensión de cables en bodega
228	Prueba de tensión de cables en bodega
229	Prueba de tensión de cables en bodega
230	Prueba de tensión de cables en bodega
231	Prueba de tensión de cables en bodega
232	Prueba de tensión de cables en bodega
233	Prueba de tensión de cables en bodega
234	Prueba de tensión de cables en bodega
235	Prueba de tensión de cables en bodega
236	Prueba de tensión de cables en bodega
237	Prueba de tensión de cables en bodega
238	Prueba de tensión de cables en bodega
239	Prueba de tensión de cables en bodega
240	Prueba de tensión de cables en bodega
241	Prueba de tensión de cables en bodega
242	Prueba de tensión de cables en bodega
243	Prueba de tensión de cables en bodega
244	Prueba de tensión de cables en bodega
245	Prueba de tensión de cables en bodega
246	Prueba de tensión de cables en bodega
247	Prueba de tensión de cables en bodega
248	Prueba de tensión de cables en bodega
249	Prueba de tensión de cables en bodega
250	Prueba de tensión de cables en bodega

Figura12. Reporte de operación de cable bolting, 04-12-22 Tomada del Área de Gemecánica

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS								
PARTIDA :	CABLE BOLTING	RENDIMIENTO:	167 ml					
SECCIÓN:	5.0 x 4.5	LONGITUD DE BARRA:	12 PIES					
GRADIENTE:	0.50%	LONGITUD EFECTIVA:	90%					
UNIDAD DE MEDIDA :	ML	EFICIENCIA DE VOLADURA:						
ELABORADO POR:	INCIMMET S.A.	N° TALADROS PERFORAD(33					
UNIDAD DE PRODUCCION :	M3	N° TALADROS DISPARADOS:						
TIPO DE MATERIAL :	MINERAL	HORAS POR GUARDIA:	10.15					
DUREZA DE MATERIAL :	MEDIA	DENSIDAD DE MATERIAL:	2.70					
INCLUYE :	Perforación e inyectado sin materiales de sostenimien							
FECHA DE ELABORACION :								
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT.	UND.	P.U (US\$)	PARCIAL	S-TOTAL	TOTAL	
1	MANO DE OBRA							
	Operador Jumbo Frontonero	10.2	Hr.	9.63	97.73	0.59		
	Ayudante de Jumbo Frontonero	10.2	Hr.	6.55	66.52	0.40		
	Operador Manitou	0.0	Hr.	8.09	-	-		
	Maestro Desatador / Cargador/Disparador	0.0	Hr.	6.81	-	-		
	Ayudante Desatador/ Cargador/Disparador	0.0	Hr.	6.04	-	-		
	Ingeniero Jefe de Guardia	10.2	Hr.	20.39	206.97	1.24		
	Topografo	2.0	Hr.	12.70	25.79	0.15		
	Ayudante Topografo	2.0	Hr.	10.14	20.59	0.12		2.51
2	MATERIALES							
	Aceros de Perforación							
	ACEROS DE PERFORACIÓN	166.7	mp	0.9	150.00	0.90		
	Servicios							
	Tubería	166.7	Und	0.83	138.33	0.83		
	Eléctricos							
	Consumibles eléctricos	1.00	Glb	0.71	0.71	0.00		1.73
3	Herramientas y EPP							
	Implementos de Seguridad	10.15	H.H	0.45	4.58	0.03		
	Herramientas	0.00	H.H	0.88	-	-		
	Lámparas mineras	7.00	Gdía	0.24	1.65	0.14		0.17
4	EQUIPOS							
	Jumbo	6.50	H.maq	156.22	1,015.41	6.09		6.09
COSTO DIRECTO								10.50
PERSONAL SUPERVISIÓN MINA - LIMA		10.6%						1.12
PERSONAL DE APOYO EN MINA		7.1%						0.75
GASTOS GENERALES		12.3%						1.29
UTILIDAD		10.0%						1.05
COSTO TOTAL								14.71
								US\$ /ML

**Figura 41. Precios unitarios de cable bolting, U.M. Cerro Lindo
Tomada de Incimmet**