

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



**PERNOS DE ANCLAJE Y FACTORES QUE INCIDEN EN LA CAIDA DE ROCAS EN
MINERÍA SUBTERRANEA: CASO MINA CARIDAD - LINCUNA**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

PRESENTADO POR:

BACH. EUSEBIO FELIX ANDRADE MENDOZA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS.

PUNO-PERÚ

2019



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

PERNOS DE ANCLAJE Y FACTORES QUE INCIDEN EN LA CAÍDA DE ROCAS

EN MINERÍA SUBTERRÁNEA: CASO MINA CARIDAD-LINCUNA

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

PRESENTADO POR:

EUSEBIO FELIX ANDRADE MENDOZA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

APROBADO POR:

PRESIDENTE

:

Dr. Eugenio Alfredo Cámac Torres

PRIMER MIEMBRO

:

Dr. Fernando Benigno Salas Urviola

SEGUNDO MIEMBRO

:

Ing. Amilcar Giovanni Teran Dianderas

TEMA: Geomecánica

ÁREA: Ingeniería de Minas

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 20 de noviembre del 2019

DEDICATORIA

A Dios

Por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida. Por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorarle cada día más.

A mis padres Feliciano y Lucila, gracias por atreverse a confiar en mí y es evidente que sin vuestro apoyo este sueño nunca hubiera podido concluir; sencillamente Uds. son la base de mi vida personal y profesional, toda mi vida estaré agradecido. Realmente no hay palabras que logren expresar lo mucho que les quiero.

A mis hermanas

Porque siempre conté con ellas para todo, gracias a la confianza que siempre nos tenemos; por el apoyo y la amistad sincera.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar agradecer a mi alma Mater Universidad nacional del altiplano, porque en sus ambientes y escuela minas, recibí el conocimiento científico ingenieril y humano de cada uno de los docentes de la facultad de ingeniería de minas, escuela profesional de ingeniería de minas, cuyo ingeniero, maestros y doctores, que a lo largo de mi formación supieron transmitir sus amplios conocimientos y a la vez sus sabios consejos en aras de la formación integral de la investigación e innovación.

Agradecimiento en segundo lugar a los trabajadores administrativos de la facultad de ingeniería de minas, por los servicios de biblioteca especializado, registros, laboratorios y gabinete que complementaron acertadamente a mi formación integral del profesional ingeniero de minas.

También debo agradecer anónimamente a todas las empresas mineras de la región y del país, que sin la oportunidad que me hubieran dado las facilidades de hacerme de la experiencia profesional haciendo un contraste con los conocimientos teóricos y la práctica, no hubiera podido hacerme un profesional.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE FIGURAS	
ÍNDICE TABLAS	
ÍNDICE DE ACRONIMOS	
RESUMEN.....	11
ABSTRACT.....	12
I. INTRODUCCIÓN.....	13
1.1 Alcances.....	15
1.2 Hipótesis.....	16
1.3 Hipótesis específicos.....	16
1.4 Factores que inciden en la caída de rocas en minería.....	16
1.4.1 Factores ambientales.....	16
1.4.2 Campo de esfuerzo.....	16
1.4.3 Método de explotación.....	17
1.4.4 Efectos por voladura.....	17
1.4.5 Perforación deficiente.....	17
1.4.6 Diseño incorrecto o aplicación inapropiada del sistema de estabilización.....	17
1.4.7 Cambio del mecanismo de carga en el anclaje.....	18
1.4.8 Experticia del recurso humano de operación.....	18
1.4.9 Alineamiento de los objetivos de la fortificación.....	18
1.4.10 Interacción de factores críticos.....	18
II. MATERIALES Y MÉTODOS.....	18
2.1 Ámbito y lugar de estudio.....	18
2.2 Materiales utilizados en la investigación.....	18
2.3 Método empleado en la investigación.....	19
2.4 Población y muestra.....	19
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	19
3.1 Perno cementado.....	20
3.2 Ventajas.....	20

3.3	Resistencia mínima de cartuchos de cemento, según corporación Aceros Arequipa S.A. ... 21	21
	Resistencia mínima de los cartuchos de resina, según corporación Aceros Arequipa S.A. 21	21
3.4	Especificaciones de los pernos helicoidales, según Corporación Aceros Arequipa S.A. 21	21
3.5	Características físicas de los pernos helicoidales (dimensiones), según corporación Aceros Arequipa S.A. 21	21
3.6	Consideraciones para la instalación de pernos cementados 22	22
3.7	Equipo, herramientas y materiales 22	22
3.8	Procedimiento de instalación 22	22
3.9	Restricciones 22	22
3.10	Riesgos potenciales 23	23
3.11	Mecanismo de sostenimiento 23	23
3.11.1	Anclajes por adherencia..... 23	23
3.12	Anclajes por fricción. 23	23
3.12.1	Ecuación para el cálculo de la capacidad de resistencia de los pernos en estudio 23	23
3.12.2	Control de pruebas de tracción de los pernos en estudio, en la labor de la Compañía Minera Lincuna..... 24	24
3.12.3	Ecuación para determinar el peso muerto de la estructura de un bloque 24	24
3.12.4	Condición estructural de la roca 24	24
3.12.5	Método de suspensión de estratos 24	24
3.12.6	Ecuación para determinar la malla de espaciamiento de los pernos de anclaje 24	24
3.12.7	Cálculo de peso del bloque muerto (T), en labor de la Mina Caridad de la Compañía Minera Lincuna S.A. – 2017..... 25	25
3.12.8	Cálculo de peso del bloque muerto, para los tres tipos de malla de espaciamiento de los pernos 25	25
3.13	Ecuación de factor de seguridad de los pernos de anclaje 25	25
3.13.1	Cálculo de factor de seguridad para el perno cementado, en la labor de la Mina Caridad de la Compañía Minera Lincuna S.A. – 2017 26	26
3.13.2	Resumen de cálculo de factor de seguridad para el perno cementado, en la labor de la Mina Caridad de la Compañía Minera Lincuna S.A. – 2017..... 26	26
3.13.3	Capacidad de anclaje de los pernos de roca 28	28
3.14	Costo de los anclajes 28	28
3.14.1	Costo de pernos cementados 28	28

3.15	Parte experimental	29
3.15.1	Máquina de arranque de pernos.....	29
3.15.2	Partes de la máquina de arranque de los pernos	29
3.15.3	Unidad de presión	29
3.15.4	Unidad de lectura de mediciones.....	29
3.15.5	Accesorios	30
3.15.6	Pruebas estadística de tracción de pernos de anclaje en la labor de la Mina Caridad de la Compañía Minera Lincuna S.A. – 2017.....	30
IV.	CONCLUSIÓN.....	32
V.	RECOMENDACIONES	32
VI.	REFERENCIA BIBLIOGRAFICA	33

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1. Perno helicoidal con todos sus partes y elementos de anclaje.....	20
Figura 2. Zona estable, por lo que el perno es anclado perpendicular a las estructuras del macizo ROCOSO.....	23
Figura 3. Zona inestable, por lo que el perno es anclado paralelo a las estructuras del macizo rocoso	23

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1. Especificaciones de cartucho de cemento.....	21
Tabla 2. Especificaciones de cartucho de resina.	21
Tabla 3. Especificaciones de los pernos de helicoidal.	21
Tabla 4. Características físicas de los pernos helicoidales (dimensiones).....	21
Tabla 5. Muestra los tres tipos de malla de espaciamiento de los pernos en Compañía Minera Lincuna.	25
Tabla 6. Peso de los bloques a sostener, para una malla indicada	25
Tabla 7. Resumen de factor de seguridad del perno cementado en la labor de la Mina Caridad de la Compañía Minera Lincuna S.A. – 2017.....	27
Tabla 8. Resumen de costo de los pernos cementados durante la guardia en la labor de la Mina Caridad de la Compañía Minera Lincuna S.A. – 2017.....	28
Tabla 9. Pruebas de tracción de pernos de anclaje.	30
Tabla 10. Pruebas de tracción de pernos de anclaje.....	30
Tabla 11. Pruebas de pull-test realizadas de los pernos helicoidales en el año 2017.	31
Tabla 12. Pruebas de pull-test realizadas de los pernos helicoidales en el año 2017.	31

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

- TM : Toneladas métricas.
- FS : Factor de seguridad.
- Lb : Libras.
- S.A. : Sociedad anónima.
- P : Capacidad de apoyo del perno.
- T : Peso del bloque muerto.
- Re : Resistencia a la tracción mínima del perno.
- S : Área del perno.
- D : Diámetro del perno.
- U : Circunferencia del perno.
- L : Longitud del perno.

Pernos de anclaje y factores que inciden en la caída de rocas en minería subterránea

Anchor bolts and factors that affect the fall of rocks in underground mining

Bach. Eusebio Felix, Andrade Mendoza

<https://orcid.org/0000-0002-1450-4723>

Facultad de Ingeniería de Minas, Universidad Nacional del Altiplano – Puno - Perú.

Av. Floral 1153, Ciudad Universitaria

mafefim37@gmail.com, - 992725187.

RESUMEN

La utilización de los pernos de anclaje de roca en minas subterráneas casi se ha generalizado debido al desarrollo y avance en la mecánica de rocas, y su empleo es fundamental para el sostenimiento de la masa rocosa, y así poder evitar la caída de rocas, planchones, que dañan a las instalaciones, equipos y ocasionan lesiones al personal incluyendo la muerte. Como objetivo es conocer el desempeño del perno de anclaje helicoidal cementado durante el proceso de sostenimiento en la Mina Caridad de la Compañía Minera Lincuna S.A. – 2017. A sí mismo en el presente trabajo se aplicó en distintos métodos, entre ellos, el observacional, experimental, estadístico, deductivo y sintético en el estudio geológico en mina, estudio geomecánico en mina, pruebas de ensayo a esfuerzo a la tracción de los pernos en estudio y costos de los pernos (pruebas del pull-test) estudio del ciclo de minado, performance de equipos y eficiencias de la operación costos de explotación, etc. El trabajo de investigación es de tipo aplicativo, su principal objetivo se basa en resolver problemas prácticos, crear nueva tecnología a partir de los conocimientos adquiridos. Conocido el desempeño de los pernos de anclaje helicoidales cementados, hemos podido determinar a través de las pruebas de campo "pull test" mediante los resultados obtenido se tiene la capacidad de soporte de los pernos helicoidales y los desplazamientos correspondientes, mediante la curva diseñada indica la capacidad máxima de soporte de los pernos de anclaje en el proceso de sostenimiento de labores subterráneas.

Palabras clave: Cartuchos de resina, labor, sostenimiento, soporte, macizo rocoso.

ABSTRACT

The use of rock anchor bolts in underground mines has almost become widespread due to the development and progress in rock mechanics, and its use is essential for the support of the rock mass, and thus to avoid the fall of rocks, slabs, which damage facilities, equipment and cause injury to personnel including death. The objective is to know the performance of the cemented helical anchor bolt during the sustaining process at the Caridad Mine of Compañía Minera Lincuna S.A. - 2017. In this work he applied himself in different methods, including observational, experimental, statistical, deductive and synthetic in the geological study in mine, geomechanical study in mine, stress test tests to the traction of the bolts under study and bolt costs (pull-test tests) study of the mining cycle, equipment performance and operation efficiencies operating costs, etc. The research work is of the application type, its main objective is based on solving practical problems, creating new technology from the acquired knowledge. Once the performance of the cemented helical anchor bolts is known, we have been able to determine through the "pull test" field tests by means of the results obtained, we have the support capacity of the helical bolts and the corresponding displacements, through the designed curve indicates the maximum support capacity of anchor bolts in the process of sustaining underground work.

Keywords: Resin cartridges, labor, support, support, rock mass.

I. INTRODUCCIÓN

La utilización de los pernos de anclaje de roca en minas subterráneas casi se ha generalizado debido al desarrollo y avance en la mecánica de rocas, y su empleo es fundamental para el sostenimiento de la masa rocosa, y así poder evitar la caída de rocas, planchones, que dañan a las instalaciones, equipos y ocasionan lesiones al personal incluyendo la muerte.

El presente trabajo de Investigación fue desarrollado en la Compañía Minera Lincuna S.A. en la Mina Caridad, lo cual tiene como objetivo conocer el desempeño del perno de anclaje helicoidal cementado durante el proceso de sostenimiento de la labor subterránea.

Las aplicaciones en la labor, permitirá hacer las comparaciones de esfuerzo de tracción y capacidad de soporte, para los pernos helicoidales.

Una serie de medidas en la labor deben realizarse, en tiempo de soporte y en espaciamiento de la malla, del perno helicoidal. Su análisis comparativo debe ser exhaustivo y sistemático, cuyo control será estadístico. El resultado permitirá saber si trabaja adecuadamente el perno helicoidal en la labor. Finalmente, este estudio dará a conocer sobre los costos operacionales de la labor, según el perno de anclaje de roca, y así mismo sobre las características geomecánicas del área de la labor.

Orellana-Menodoza (2016) *“Existe una correlación entre los métodos de minado subterráneo con los accidentes mortales por caída de rocas. Los que estamos en la industria minera, sabemos que los métodos de minado subterráneo conllevan inminentemente a una mayor exposición del trabajador, es decir si explota el mineral por el método de corte y relleno ascendente, es obvio que el trabajador que está a cargo del desatado, perforación, carga de explosivos y los de limpieza de la labor estarán más expuestos a la masa rocosa recién fragmentada por voladura”*.

Loayza-Solier (2006) *“Es demostrar la importancia de los pernos de roca como sostenimiento simple y rápido para usar, de bajo costo y seguro, evitando así la caída de rocas o planchones en las labores mineras, dando seguridad al trabajador minero en la perforación, carguío, limpieza del mineral, evitando accidentes incapacitantes así como accidentes fatales.”*

Giraldo-Peredez (2016) *“La presente investigación se desarrolla con la finalidad de tener presente los factores por los que se producen la mayor cantidad de accidentes por desprendimiento de rocas, en labores mineras subterráneas y propender a su reducción; dado que de acuerdo a las estadísticas del Ministerio de Energía y Minas, el 33 % de accidentes mortales es producido por desprendimiento de rocas”*

Orellana-Menodoza (2016) *”La meteorización y la alteración Entre los procesos geológicos que más influyen en las condiciones de resistencia de la roca y que están presentes en todos los yacimientos metálicos, hay dos factores importantes, la meteorización y alteración”*.

Escalante-Guerra (2017) *”Con respecto a la perforación y voladura en el sostenimiento con cuadros de madera, la perforación se realiza en algunos casos en realce para luego realizar un desquinche para armar los cuadros, pero en la mayoría de los casos se realiza un minado horizontal lo que nos da como resultado baja productividad del tajo. Por tanto es necesario mejorar el sistema de sostenimiento con madera mediante la utilización de pernos split set y malla electro soldada el mismo que tendrá mayor tiempo de duración y rendimiento”*.

Corimanya-Mauricio (2003) *”El uso de elementos para el sostenimiento del macizo rocoso ha llevado al hombre a ir perfeccionando cada vez más las técnicas de sostenimiento en la explotación de minas subterráneas. Con el transcurso de los años se han desarrollado y probado diferentes elementos, cada vez se adecúa en mejor forma a las necesidades. Estos elementos son cada vez más livianos, resistentes y fácil de instalar. Para mejorar la seguridad en las minas subterráneas y como ayuda en el entrenamiento de los mineros que realizan el*

trabajo de la instalación del sostenimiento del terreno”.

Orellana-Menodoza (2016) *”La estabilidad de las obras mineras depende en gran medida del diseño de las plantillas de barrenación, el uso y la distribución de explosivos. Esta tarea se debe realizar sistemáticamente para prevenir accidentes por caída de roca e implica necesariamente la participación del trabajador y los ingenieros que intervienen directamente en la supervisión y diseño de las obras mineras de desarrollo, preparación y explotación”*

Fabián-Flores & Guerrero-Porras, 2017; Medina-Alarcon (2018) concluye que *“con la aplicación de la geomecánica, los resultados durante los meses de trabajo de enero a octubre del 2015, se tuvo 29.2% accidentados, logrando disminuir los accidentes por desprendimientos de rocas, como se muestra en el cuadro estadístico de accidentes con una diferencia de 70.8% accidentados desde enero a octubre del 2015”*.

Orellana-Menodoza (2016) concluye que *“las clasificaciones geomecánicas con mejores resultados de aplicación son las de Bieniawski (RMR básico) y el índice de resistencia geológica (GSI) basado en el estado de fractura miento y calidad de las discontinuidades. Se clasifica el macizo rocoso de Huacho colpa Uno, veta Bienaventurada,*

nivel 4480, galerías 570, 576, 900 y 910 de calidad media y comportamiento Elasto-Frágil”.

Cabello-Robles (2018)concluye que *“una herramienta para la reducción de accidentes por caída de roca es una Guía de criterios geomecánicos, en la elaboración de esta guía se busca aportes de los operadores mineros, con miras a definir estándares mínimos, difundir el conocimiento y prácticas recomendadas relacionadas a geomecánica para minería subterránea”.*

Medina-Alarcon (2018)concluye que *“el resultado de cierre de año 2015, en cuanto se refiere a incidentes ocurridos por el tipo de causa desprendimiento de rocas, evidencia reducción en 32% con respecto al año 2014”.*

Mamani-Barraza (2018)concluye que *“la geomecánica es aplicable para este tipo de proyectos que con la correcta aplicación de la misma se contribuye en la minimización de accidentes por caída de rocas en las labores subterráneas”.*

La realidad problemática surge en el análisis de los altos índices de inestabilidad de las labores mineras subterráneas, recomendar como obviar, eliminar y controlar dichas inestabilidades, con la aplicación de la geomecánica. El sostenimiento especificado para labores mineras subterráneas permanentes

y temporales no han tomado en cuenta la presencia de cuñas alrededor de las excavaciones, el análisis estructuralmente controlado ha indicado la formación de cuñas potencialmente inestables en la bóveda de las labores mineras, particularmente en masas rocosas de calidad regular y superiores siendo necesario este hecho para la definición del sostenimiento.

1.1 Alcances

Debido a la complejidad asociada al problema de estabilidad de excavaciones subterráneas, y la incertidumbre relacionada con aspectos ingenieriles. Este trabajo plantea una herramienta generalizada para el diseño de sistemas de estabilización del macizo, que integra herramientas empíricas y de modelación numérica.

Si bien este trabajo pretende otorgar una herramienta generalizada, para etapas de ingeniería de perfil y conceptuales, se definieron los siguientes alcances dentro de su planteamiento y desarrollo:

- A pesar de la relevancia de aspectos geológicos (discontinuidades, planos de debilidad o foliaciones) en el diseño de estabilización en excavaciones mineras, este análisis se excluye de este trabajo. Debido a que el enfoque es generalizado y no busca evaluar de manera independiente las singularidades de cada caso.

- Debido a la gran cantidad de variables comprometidas en análisis de estabilidad, se definen un rango acotado de ellas que finalmente serán integradas y analizadas a lo largo de este trabajo.
- El análisis del desempeño de soporte y de refuerzo se basa exclusivamente en el método de reducción de resistencia al corte, un criterio definido de estabilidad y la falla por carga de los elementos.

Se considera una excavación subterránea estándar, basada en dimensiones típicas de una galería de producción de una operación por block panel caving. Por lo tanto, el análisis está definido por una geometría constante.

1.2 Hipótesis

Al utilizar el sistema de sostenimiento con pernos helicoidales en labores principales sedara seguridad y una mayor confiabilidad y se optimizará los costos en sostenimiento en la compañía Minera Lincuna S.A.

1.3 Hipótesis específicos

Los pernos de anclaje de roca permiten avanzar con mayor eficiencia, en la explotación de minas, y desarrollos en forma segura y rápida, cuidando la seguridad e integridad física del trabajador minero.

Los procedimientos para el diseño del elemento o sistema de sostenimiento mejora la estabilidad de las labores mineras en la Mina Lincuna.

Los pernos de anclaje de roca en la actualidad proporcionan el sostenimiento del macizo rocoso, en forma fácil y rápida en su instalación in-situ, demanda bajo costo y brinda excelente seguridad, y ha contribuido a disminuir la cantidad de uso de madera en la mina Lincuna.

1.4 Factores que inciden en la caída de rocas en minería

A continuación se indican algunos factores relacionados con aquellos aspectos operativos y otros agentes mecánicos que han sido identificados como elementos recurrentes en los resultados de las investigaciones realizadas, no todos son causantes del fenómeno de caída de rocas en minería, pero han contribuido en cierto grado como parte del o los mecanismos que originó la caída de roca.

Se relacionan directamente a las características del macizo rocoso; tipo de roca, alteraciones, fallas, discontinuidades o diaclasas, lo que origina el debilitamiento y luego el desprendimiento de rocas.

1.4.1 Factores ambientales

Los cambios bruscos de temperatura, la humedad y la presencia de agua subterránea, son factores que contribuyen a debilitar la roca.

1.4.2 Campo de esfuerzo

Cuando las excavaciones llegan a grandes profundidades se originan grandes esfuerzos en la masa rocosa, lo que origina fracturas y luego la caída de rocas.

1.4.3 Método de explotación

Un método de explotación inapropiado al tipo y calidad de roca, influye en la inestabilidad de la excavación y del entorno del macizo rocoso.

1.4.4 Efectos por voladura

El uso excesivo de explosivos en una tronadura debilita las paredes y el techo de la excavación, lo que provoca la generación de micro fracturas y apertura de diaclasa, las que pueden provocar caída de roca.

1.4.5 Perforación deficiente

No conservar el paralelismo de las perforaciones contribuye a formar zonas de sobre excavación y cuñas que pueden desprenderse.

Corrosión del elemento estructural

- Uso de acero negro, sin encapsulado en ambientes agresivos.
- Fracturas del “grout” en terrenos sujetos a permanentes cambios de tensiones y por no considerar un pre-tensado del elemento.
- Pérdida de “grout” por un encapsulado incompleto del elemento, lo que permite que la infiltración de agua erosione el “grout”.
- Cambio del pH, volumen y propiedades químicas, de las aguas de infiltración subterránea.

Incorrecta instalación del sistema de estabilización

- Pernos instalados con equipo mecanizado tipo Jumbo en excavaciones pequeñas con ángulos

menores a la normal de la superficie (sub-horizontal).

- Longitud de encapsulado menor que la especificada.
- Dosificación incorrecta del “grout” o lechada de cemento.
- Longitud de anclaje insuficiente en roca sana.
- Diámetro de perforación inadecuado para el tipo de sostenimiento a emplear (anclaje por fricción, perno resina).

1.4.6 Diseño incorrecto o aplicación inapropiada del sistema de estabilización

- Escasa capacitación del personal (incluidos ingenieros y operador) en la identificación de cuñas y otras estructuras geológicas riesgosas.
- Personal no competente para el análisis, evaluación e inspección visual de condiciones de riesgo del macizo rocoso.
- Colapso y caída de roca dañada por el efecto del proceso tronadura y un mal proceso de saneamiento al iniciar el proceso de apernado.
- Aplicación del perno de anclaje por fricción para el control de grandes bloques.
- Uso solo de perno de anclaje como refuerzo para la estabilización, en zonas donde se requiere una combinación de refuerzo más soporte, mediante la aplicación de shotcrete y malla u otro elemento a ser colocado en la superficie para prevenir el colapso de la roca.

- Instalación insuficiente del número de anclajes para obtener un factor de seguridad adecuado a las condiciones del área a estabilizar.
- Instalación y orientación inadecuada con respecto a la superficie a estabilizar.

1.4.7 Cambio del mecanismo de carga en el anclaje

Alteración del mecanismo de carga sobre el anclaje, debido al movimiento de una estructura geológica o a cambios en el campo de esfuerzo. Esto genera una alta probabilidad de falla del sistema de refuerzo, porque este fenómeno no es evaluado objetiva y oportunamente.

1.4.8 Experticia del recurso humano de operación

Bajo conocimiento específico sobre los objetivo de las labores de control y calidad, en las operaciones orientadas a mantener la estabilidad de las excavaciones subterráneas, a nivel de todo el recurso humano involucrado en las actividades de estabilización, sean supervisores y operadores.

1.4.9 Alineamiento de los objetivos de la fortificación

Existencia de un des alineamiento entre los objetivos del diseñador de los sistemas y los instaladores u operadores, lo que lleva a tener malos resultados en la gestión global de la estabilidad de las excavaciones.

1.4.10 Interacción de factores críticos

La coexistencia de alguno o varios de los factores enumerados anteriormente, que pueden contribuir en diferente grado de importancia a generar condiciones de inestabilidad sobre el macizo rocoso en el tiempo, por ejemplo; la falta de monitoreo y retroalimentación de la existencia de eventos de riesgo por parte de la operación ya sea de eventos individuales o colectivos a consecuencia de factores tales como: presencia de agua, lajamiento y eventos sísmicos por incremento del campo de esfuerzo, y daños en los sistemas a consecuencia de las operaciones productivas, todos estos factores críticos sumados, evidentemente generan condiciones de riesgo y de colapsos de las excavaciones subterráneas y de superficie.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Ámbito y lugar de estudio.

La Unidad Caridad de la compañía Minera Lincuna S.A. – 2017, se ubica en el distrito de Aija, provincia de Aija, departamento de Ancash. Esta mina cuenta con 3 unidades de producción tales como: Hércules, Coturcan y Caridad.

2.2 Materiales utilizados en la investigación

a) **Personal:** Maestro encargado de la instalación de pernos helicoidales y ayudante.

b) Uso obligatorio de EPP: Mameluco con cinta reflectiva; protector con tafilete y barbiquejo; guantes de cuero, botas de jebe con punta de acero; correa portalámparas; lámpara; lentes de seguridad; respirador con filtros; tapones de oído; casaca y pantalón de jebe.

- Perforadora manual jackleg
- Dos (02) juegos de barretillas de diferentes medidas
- Barras de perforación de 4, 6 y 8 pies con sus respectivas brocas
- Pernos helicoidales
- Flexómetro
- Plataforma
- Adaptador para pernos helicoidales
- Cartuchos de cemento
- Cartuchos de resina
- Pintura
- Atacador

a. Recopilación de la información: para el presente trabajo se aplicó distintos métodos, entre ellos, el observacional, experimental, estadístico, deductivo y sintético en el estudio.

b. Trabajo de campo: estudio geológico en mina, estudio geomecánico en mina, pruebas de ensayo a esfuerzo a la tracción de los pernos en estudio y costos de los pernos (pruebas del pull-test) estudio del ciclo de minado, performance de equipos y eficiencias de la operación costos de explotación, etc.

c. Trabajo de gabinete: Elaboración y análisis de datos, cálculos, confección de planos,

evaluación de resultados y redacción del trabajo profesional.

2.3 Método empleado en la investigación

El trabajo de investigación es de tipo aplicativo, su principal objetivo se basa en resolver problemas prácticos, crear nueva tecnología a partir de los conocimientos adquiridos.

2.4 Población y muestra

• **Población.** La población será representada por los diversos componentes estructurales del macizo rocoso de las labores mineras de la mina Caridad – Compañía Minera Lincuna S.A, en etapa de exploración, desarrollo, preparación y explotación.

• **Muestra.** La muestra poblacional está conformada por un subconjunto representativo de la población, en nuestro caso por los elementos o sistemas de sostenimiento aplicados a la labor.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la presente investigación se detallan a continuación:

Realizado los ensayos y observaciones de campo correspondiente y evaluando los diseños de malla para los pernos helicoidales en la labor, para una roca regular B, se tiene una malla de 1.50m x 1.50m, para la condición de roca mala A, la malla es de 1.20m x 1.20m; para una roca mala B, la malla es de 1.0m x 1.0m. Por lo que el desempeño de un perno de anclaje esta también, en función de la malla de

instalación considerándose las condiciones del macizo rocoso.

Evaluado costos en los pernos de anclaje de roca se determinó que los costos de instalación de los pernos helicoidales es de 12.54 US\$/perno. Considerando además el tiempo de vida del perno resulta apropiado el perno helicoidal el proceso de sostenimiento de la labor.

Se ha determinado la mejor alternativa para refuerzo y soporte de macizos rocosos, utilizando pernos de anclaje en la labor, siendo el perno helicoidal, el que tiene un buen desempeño y eficiente sostenimiento con rapidez. Capacidad de soporte, tiempo y costos operacionales en el laboreo de la unidad Caridad de la compañía minera Lincuna S.A.

3.1 Perno cementado

Son barras laminadas en caliente con resaltes en forma de rosca helicoidal de amplio paso (BAHE A615-G75). Actúa en conjunto con una placa y una tuerca para reforzar y preservar la resistencia natural que presentan los estratos rocosos, suelos o taludes.

En el taladro previamente preparado, se inyecta concreto, mortero o resina, según sea el material de anclaje en el estrato; se introduce la barra, se coloca la rosca como resalte para evitar el desplazamiento de la barra, tal como se muestra en la Fig. 1. (Corporación Aceros Arequipa S.A. (www.acerosarequipa.com, 2000).

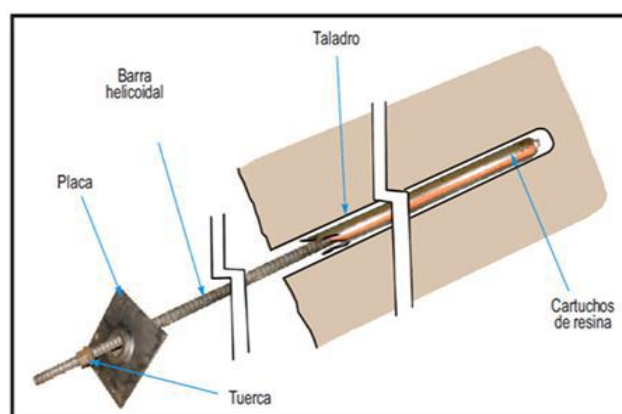


Figura 1. Perno helicoidal con todos sus partes y elementos de anclaje.

3.2 Ventajas

- El sistema barra helicoidal es muy fácil instalar. Gracias al hilo continuo de la barra, ésta puede cortarse en el terreno a la longitud deseada sin tener que preparar una provisión de barras de cada longitud a usar.
- La placa base de forma curva y con perforación central cónica, junto con la tuerca de base esférica, puede adaptarse a las irregularidades de la superficie rocosa, actuando como rótula. No es necesario construir bases de apoyo con mortero, o equivalentes, ni usar golillas para ajustar desviaciones de la ortogonalidad entre la barra helicoidal y placa.
- El diámetro de instalación no es crítico para su instalación.
- La inyección de lechada o resina protege a la barra de la corrosión, al mismo tiempo que le asegura la adherencia permanente a la roca. Para usos habituales, en ambientes de baja

agresividad, no requiere de protección adicional contra la corrosión.

3.3 Resistencia mínima de cartuchos de cemento, según corporación Aceros Arequipa S.A.

Los requisitos de resistencia de los cartuchos de cemento proporcionados por Aceros Arequipa S.A. son presentados en la Tabla 1.

Tabla 1. Especificaciones de cartucho de cemento.

Compresión uniaxial MPa	60
Tracción MPa	20
Cizalla MPa	50
Vencimiento meses/almacenamiento	6

Fuente: Compañía Minera Lincuna.

Resistencia mínima de los cartuchos de resina, según corporación Aceros Arequipa S.A.

La resistencia de los cartuchos de resina es presentada a través de la Tabla 2, a continuación:

Tabla 2. Especificaciones de cartucho de resina.

Compresión uniaxial MPa	86,9
Tracción MPa	22,1
Cizalla MPa	52,0
Vencimiento meses	1 año – 10 a 25

Fuente: Compañía Minera Lincuna.

3.4 Especificaciones de los pernos helicoidales, según Corporación Aceros Arequipa S.A.

Las especificaciones técnicas de los pernos helicoidales son presentadas en la Tabla 3

Tabla 3. Especificaciones de los pernos de helicoidal.

Propiedades	Grado 75
Límite de Fluencia, mín. (kg/cm ²)	5270
Resistencia a la tracción, mín. (kg/cm ²)	7030
Alargamiento en 200mm, mín. (%)	7

Fuente: Compañía Minera Lincuna

3.5 Características físicas de los pernos helicoidales (dimensiones), según corporación Aceros Arequipa S.A

Las características físicas de los pernos helicoidales son presentadas en la Tabla 4

Tabla 4. Características físicas de los pernos helicoidales (dimensiones)

	Diámetro Nominal (A)	Diámetro Exterior (D)	Carga de Fluencia	Carga Máxima	Peso Nominal
19mm (#6)	3/4”(19mm)	0.84”(21.4mm)	33,000 lb. (146 kN)	44,000 lb. (195 kN)	1.47 lb/ft (2.19 kg/m)
22mm (#7)	7/8”(22mm)	0.97”(24.6mm)	45,000 lb. (200 kN)	60,000 lb. (270 kN)	1.95 lb/ft (2.19 kg/m)
25mm (#8)	1”(25mm)	1.09”(27.8mm)	59,300 lb. (263 kN)	79,000 lb. (350 kN)	2.48 lb/ft (3.70 kg/m)
32mm (#10)	1-1/4”(32mm)	1.39”(35.3mm)	95,200 lb. (200 kN)	127,000 lb. (564 kN)	4.1 lb/ft (6.11 kg/m)

Fuente: Compañía Minera Lincuna.

3.6 Consideraciones para la instalación de pernos cementados

a) **Personal:** Maestro encargado de la instalación de pernos helicoidales y ayudante.

b) **Uso obligatorio de EPP:** Mameluco con cinta reflectiva; protector con tafilete y barbiquejo; guantes de cuero, botas de jebe con punta de acero; correa portalámparas; lámpara; lentes de seguridad; respirador con filtros; tapones de oído; casaca y pantalón de jebe.

3.7 Equipo, herramientas y materiales

- Perforadora manual jackleg
- Dos (02) juegos de barretillas de diferentes medidas
- Barras de perforación de 4, 6 y 8 pies con sus respectivas brocas
- Pernos helicoidales
- Flexómetro
- Plataforma
- Adaptador para pernos helicoidales
- Cartuchos de cemento
- Cartuchos de resina
- Pintura
- Atacador

3.8 Procedimiento de instalación

a) Verifica que la labor esté ventilada haciendo la prueba de fósforo.

b) Verifica que el área a sostener, techo y hastiales, no tener shotcrete craquelado ni bancos colgados, aplicando el redesatado.

c) Medir y marcar la distribución de los pernos, de acuerdo a la orden de trabajo geomecánico.

d) Trasladar los equipos, herramientas y asegurar las conexiones de agua y aire de la perforadora (con bushing y cinta band-it) con herramientas adecuadas.

e) Coloca los cartuchos de cemento dentro de un recipiente con agua para su hidratación, por un tiempo máximo de 10 minutos.

f) Perfora los taladros, empezando por la parte central de la corona de la labor, usa el atacador para introducir los cartuchos de resina y cemento dentro del taladro de acuerdo al pasaporte o recomendación de geomecánica.

g) Inyectar los pernos helicoidales usando la perforadora y el adaptador integral para introducir el perno (sin placa dentro del taladro y realizar el batido de la resina y cemento girando el perno por 01 minuto.

h) Dejar 15 centímetros del perno fuera del emboquillado del taladro para el emplacado.

i) Ajustar la placa a los pernos utilizando un taquímetro o una llave inglesa luego de 48 horas de instalados, hasta que se fije a la superficie.

3.9 Restricciones

1.- No instalar pernos helicoidales si no ha pasado 3 horas desde la aplicación de shotcrete.

2.- No acumular taladros vacíos, (taladro perforado perno inyectado).

3.-No instalar pernos helicoidales doblados.

3.10 Riesgos potenciales

- a) Aplastamiento por desprendimiento de rocas o shotcrete craquelado.
- b) Paso de personas al mismo nivel.
- c) Daños a la salud por inhalación de partículas suspendidas.

Correcto instalación de pernos de anclaje en zona estable e inestable es presentada a través de la Fig. 2 y la Fig. 3, a continuación.

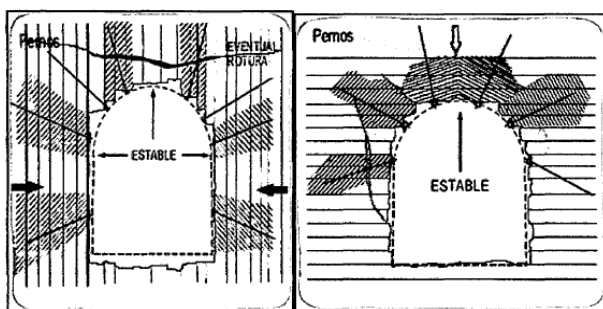


Figura 2. Zona estable, por lo que el perno es anclado perpendicular a las estructuras del macizo rocoso.

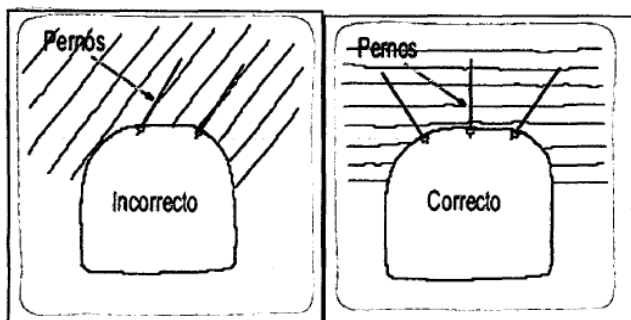


Figura 3. Zona inestable, por lo que el perno es anclado paralelo a las estructuras del macizo rocoso

3.11 Mecanismo de sostenimiento

3.11.1 Anclajes por adherencia

En este tipo de anclajes el espacio anular existente entre la barra del bulón y las paredes del taladro se rellena con un mortero fabricado con resina o cemento, que, al fraguar, debe

asegurar la adherencia suficiente para solidarizar la barra y la roca.

1. Anclajes a base de resina (barras)
2. Anclajes a base de cemento (barras o cables)

3.12 Anclajes por fricción.

Los anclajes por fricción o mecánicos tienen buen comportamiento cuando se introducen en un macizo rocoso que vaya a sufrir una plastificación importante como consecuencia del reajuste de tensiones. Por último, también, se deben considerar los anclajes de cables, que se utilizan cuando se necesitan anclar grandes longitudes del talud y cuyo mecanismo de funcionamiento es por adherencia.

3.12.1 Ecuación para el cálculo de la capacidad de resistencia de los pernos en estudio

La capacidad de resistencia de pernos cementados depende de la calidad del acero empleado y de su diámetro. Los pernos de acero están adecuados a las especificaciones de los requisitos de propiedades mecánicas ASTM A615, grado 60, con resistencia a la tracción mínima de 6330 kg/cm².

La capacidad de soporte de los pernos cementados, con cemento o resma se determina con la siguiente ecuación de Cemal Biron:

$$P = RC * S = \tau * U * L$$

$$S = \frac{\pi * d^2}{4}$$

$$U = \pi * d$$

$$\tau = \frac{0.25 * Rc * d}{L}$$

Donde:

- P: Capacidad de apoyo del perno (kg)
- Re: Resistencia a la tracción mínima del perno
6330 kg/cm²
- S: Área del perno
- d: Diámetro del perno (cm)
- τ: Adherencia entre el perno y el cemento
(kg/cm²)
- U: Circunferencia del perno (cm)
- L: Longitud del perno (cm)

3.12.2 Control de pruebas de tracción de los pernos en estudio, en la labor de la Compañía Minera Lincuna.

3.12.3 Ecuación para determinar el peso muerto de la estructura de un bloque

3.12.4 Condición estructural de la roca

Las cuñas o bloques son formados por la intersección de planos estructurales, así como: planos de estratificación y por sistemas de discontinuidades, los cuales separan a la masa rocosa en piezas.

3.12.5 Método de suspensión de estratos

Para el soporte de una zona potencialmente inestable en terreno estratificado laminar, el anclaje deberá colocarse por encima de la zona inestable. Si se asume que el peso de la roca de la zona inestable (estrato suspendido) es soportado completamente por la fuerza desarrollada por los pernos, entonces;

$$T = Y * h * S^2$$

Datos:

$$Y = 2.7 \text{ TM/m}^3 \text{ (CMHSA)}$$

Dónde:

$$T = \text{Peso del bloque muerto (TM)}$$

$$Y = \text{Peso unitario de la roca (2,7 TM/m}^3\text{)}$$

$$h = \text{Potencia de la zona inestable (m.)}$$

$$S = \text{Espaciamiento entre pernos de dirección longitud y transversal (m}^2\text{)}$$

3.12.6 Ecuación para determinar la malla de espaciamiento de los pernos de anclaje

$$T = Y * h * S^2$$

$$F S = \frac{P}{T}$$

Despejando “T”

$$F S = \frac{P}{T}$$

$$T = \frac{P}{FS}$$

$$S = \sqrt{\frac{P}{(y * h * FS)}}$$

Dónde:

$$T = \text{Peso del bloque muerto (TM)}$$

$$Y = \text{Peso unitario de la roca (2,7 TM/m}^3\text{)}$$

$$h = \text{Potencia de la zona inestable (m)}$$

$$S = \text{Espaciamiento entre pernos de dirección longitud y transversal (m)}$$

$$P = \text{Capacidad de apoyo del perno (TM)}$$

$$FS = \text{Factor de seguridad.}$$

A continuación se muestra los tres tipos de malla de espaciamiento de los pernos en la compañía minera Lincuna en la Tabla 5.

Tabla 5. Muestra los tres tipos de malla de espaciamiento de los pernos en Compañía Minera Lincuna.

Malla de espaciamiento determinando de los pernos en Compañía Minera Lincuna (m ²)		
1.00	*	1.00
1.20	*	1.20
1.50	*	1.50

Fuente: Compañía Minera Lincuna.

3.12.7 Cálculo de peso del bloque muerto (T), en labor de la Mina Caridad de la Compañía Minera Lincuna S.A. – 2017

$$T = Y * h * S^2$$

Datos

T = Peso del bloque muerto

Y = Peso unitario de la roca en Compañía Minera Lincuna, labor (2, 7TM/m³)

h = Potencia de la zona inestable en (1,5 m.)

S = Espaciamiento entre pernos de dirección longitud y transversal en la compañía minera Lincuna (m²)

3.12.8 Cálculo de peso del bloque muerto, para los tres tipos de malla de espaciamiento de los pernos

Para: S = 1.00m x 1.00m

$$T = 2.7 \frac{TM}{m^3} * 1.50m * 1.00m * 1.00m$$

T = 4.05 TM. (Peso de un bloque suspendido)

Para: S = 1.20m x 1.20

$$T = 2.7 \frac{TM}{m^3} * 1.50m * 1.20m * 1.20m$$

T = 5.83 TM. (Peso de un bloque suspendido)

Para: S = 1.50m x 1.50m

$$T = 2.7 \frac{TM}{m^3} * 1.50m * 1.50m * 1.50m$$

T = 9.11 TM. (Peso de un bloque suspendido)

El peso de los bloques a sostener, para una malla indicada es presentada a través de la Tabla 6.

Tabla 6. Peso de los bloques a sostener, para una malla indicada

Resumen de peso de los bloques a sostener			
Espaciamiento de los pernos (m ²)			Peso del bloque (TM)
1.00	*	1.00	4.05
1.20	*	1.20	5.83
1.50	*	1.50	9.11

Fuente: Compañía Minera Lincuna.

3.13 Ecuación de factor de seguridad de los pernos de anclaje

Factor de seguridad es la sumatoria total de los soportes o refuerzos realizados, dividido entre la sumatoria total de peso de los bloques a sostener perteneciente a Cemal Biron y Ergin Arioglu

$$FS = \frac{\sum P}{\sum T}$$

Dónde:

P = Capacidad de apoyo del perno.

T = Peso del bloque muerto.

FS = Factor de seguridad.

3.13.1 Cálculo de factor de seguridad para el perno cementado, en la labor de la Mina Caridad de la Compañía Minera Lincuna S.A. – 2017

En la Tabla N° 7, se observa el resumen de capacidad de apoyo de los pernos en estudio, de acuerdo a la longitud, y el peso de los bloques a sostener de acuerdo al espaciamiento de los pernos establecido.

Ejemplo N° 01

Datos:

Capacidad de apoyo del perno = 18 TM

Peso" del bloque muerto = 4.05 TM

$$FS = \frac{\sum p}{\sum T}$$

$$FS = \frac{18 \text{ TM}}{4.05 \text{ TM}}$$

$$FS = 4.44$$

Ejemplo N° 02

Datos:

Capacidad de apoyo del perno = 24 TM

Peso del bloque muerto = 9.11 TM

$$FS = \frac{\sum p}{\sum T}$$

$$FS = \frac{24 \text{ TM}}{9.11 \text{ TM}}$$

$$FS = 2.63$$

Ejemplo N° 03

Datos:

Capacidad de apoyo del perno = 30 TM

Peso del bloque muerto = 5.83 TM

$$FS = \frac{\sum p}{\sum T}$$

$$FS = \frac{30 \text{ TM}}{5.83 \text{ TM}}$$

$$FS = 5.14$$

3.13.2 Resumen de cálculo de factor de seguridad para el perno cementado, en la labor de la Mina Caridad de la Compañía Minera Lincuna S.A. – 2017

A continuación resumen de factor de seguridad del perno cementado en la tabla. 7

Tabla 7. Resumen de factor de seguridad del perno cementado en la labor de la Mina Caridad de la Compañía Minera Lincuna S.A. – 2017.

Tipo de perno	Peso unitario de la roca (TM/m ³)	Longitud perno (pies)	Capacidad de apoyo del perno (TM)	Potencia de la zona inestable (m)	Área del perno (m ²)			Peso del bloque muerto (TM)	Factor de seguridad (FS)	Factor de seguridad promedio
Helicoidal	2.7	6	18	1.5	1.00	*	1.00	4.05	4.44	
Helicoidal	2.7	6	18	1.5	1.20	*	1.20	5.83	3.09	3.17
Helicoidal	2.7	6	18	1.5	1.50	*	1.50	9.11	1.98	
Helicoidal	2.7	6	20	1.5	1.00	*	1.00	4.05	4.94	
Helicoidal	2.7	6	20	1.5	1.20	*	1.20	5.83	3.43	3.52
Helicoidal	2.7	6	20	1.5	1.50	*	1.50	9.11	2.19	
Helicoidal	2.7	7	22	1.5	1.00	*	1.00	4.05	5.43	
Helicoidal	2.7	7	22	1.5	1.20	*	1.20	5.83	3.77	3.87
Helicoidal	2.7	7	22	1.5	1.50	*	1.50	9.11	2.41	
Helicoidal	2.7	7	24	1.5	1.00	*	1.00	4.05	5.93	
Helicoidal	2.7	7	24	1.5	1.20	*	1.20	5.83	4.12	4.22
Helicoidal	2.7	7	24	1.5	1.50	*	1.50	9.11	2.63	
Helicoidal	2.7	7	25	1.5	1.00	*	1.00	4.05	6.17	
Helicoidal	2.7	7	25	1.5	1.20	*	1.20	5.83	4.29	4.40
Helicoidal	2.7	7	25	1.5	1.50	*	1.50	9.11	2.74	
Helicoidal	2.7	7	26	1.5	1.00	*	1.00	4.05	6.42	
Helicoidal	2.7	7	26	1.5	1.20	*	1.20	5.83	4.46	4.58
Helicoidal	2.7	7	26	1.5	1.50	*	1.50	9.11	2.85	
Helicoidal	2.7	8	28	1.5	1.00	*	1.00	4.05	6.91	
Helicoidal	2.7	8	28	1.5	1.20	*	1.20	5.83	4.80	4.93
Helicoidal	2.7	8	28	1.5	1.50	*	1.50	9.11	3.07	
Helicoidal	2.7	8	30	1.5	1.00	*	1.00	4.05	7.41	
Helicoidal	2.7	8	30	1.5	1.20	*	1.20	5.83	5.14	5.28
Helicoidal	2.7	8	30	1.5	1.50	*	1.50	9.11	3.29	

Fuente: Compañía Minera Lincuna.

3.13.3 Capacidad de anclaje de los pernos de roca

El sostenimiento con pernos de anclaje consiste en restablecer el equilibrio del macizo rocoso, mediante el refuerzo, soporte, revestimiento, relleno, con la finalidad de garantizar la estabilidad de la labor minera; está basado en criterios de análisis e investigaciones de campo, que consideran parámetros como:

- a. Clasificación geomecánica del macizo rocoso.
- b. Diseño del sistema y/o elemento de sostenimiento; para un mayor avance y seguridad para el personal, equipos, maquinarias.
- c. Infraestructura de la operación minera.

Para la aplicación de los pernos de roca en el diseño del sostenimiento; como elemento de refuerzo, de una labor minera subterránea, uno de los aspectos a considerarse, es su capacidad de anclaje.

La capacidad de anclaje de un perno de roca; de anclaje puntual, repartido y, se determina mediante el ensayo de tracción (pull-test), empleando la máquina de arranque de pernos (Rock Bolt Tester).

3.14 Costo de los anclajes

3.14.1 Costo de pernos cementados

El precio unitario de los pernos cementados está en función a la longitud a sostener, y se visualiza en el Tabla 8 de resumen en función al rendimiento hombre guardia

Tabla 8. Resumen de costo de los pernos cementados durante la guardia en la labor de la Mina Caridad de la Compañía Minera Lincuna S.A. – 2017.

INSTALACIÓN DE PERNO HELICOIDAL DE 7'						
Longitud de taladro Rendimiento DESCRIPCIÓN	2.10 m 18 Unid/gdia (8 horas)		Costo unit.US\$	Vida útil	Costo x disparo	Costo/Pza (US\$/pza)
	Unid	cantidad				
1 IMPLEMENTOS DE SEGURIDAD						
Tarea con ropa de agua	Tar	1.00	1.77		1.77	
Tarea con ropa de agua	Tar	1.00	1.77		1.77	
					3.54	0.20
2 MATERIALES Y HERRAMIENTAS						
Barra cónica de 7'	Pza	108.00	67.10	1820	3.98	
Broca de 40 mm	Pza	108.00	22.00	350	6.79	
Aceite de perforación	Gln	0.17	7.40		1.26	
Perno helicoidal 7', tuerca, placa	Pza	18.00	7.03		126.54	

Resina	Cant	18.00	0.83		14.94	
Cembol	Cant	108.00	0.26		28.08	
Adaptador para inst. perno	Pza	1.00	88.00	350	0.25	
Herramienta de mina	Global				1.06	
					182.90	10.16
3 EQUIPO DE PERFORACIÓN						
Perforadora	P.P	126.00	0.1		12.60	
Manguera de aire 1´	m	30.00	2.48	150	0.50	
Manguera de agua de ½´	m	30.00	1.21	150	0.24	
					13.34	0.74
COSTOS DIRECTOS						11.10
IMPREVISTOS		3%				0.33
GASTOS GENERALES		0%				
UTILIDAD		10%				1.11
Costo total (US\$)/Pza						12.54
ENTONCES 18pernos x 12.54US\$/perno=225.72\$						

Fuente: Compañía Minera Lincuna.

3.15 Parte experimental

3.15.1 Máquina de arranque de pernos

La máquina de arranque de pernos permite determinar la capacidad de carga o de anclaje de los pernos de roca (anclaje puntual, repartido y combinado), instalado en un determinado macizo rocoso, mediante el ensayo del "pull pest", su capacidad considera aspectos importantes como:

1. Longitud del perno
2. Diámetro del taladro
3. Tiempo de instalación
4. Calidad del macizo rocoso

3.15.2 Partes de la máquina de arranque de los pernos

3.15.3 Unidad de presión

Esta unidad de presión está constituida por las siguientes componentes:

1. Gata central
2. Bomba hidráulica
3. Manguera de transmisión de presión

3.15.4 Unidad de lectura de mediciones

Esta unidad de lectura de mediciones está constituida por las siguientes componentes:

1. Reloj de lectura de presión
2. Calibrador
3. Soporte universal

3.15.5 Accesorios

1. Cabeza de jalado
2. Tomillo de jalado
3. Tuercas
4. Perno de ojillo
5. Espaciadores
6. Arandelas
7. Sujetador de punto cero
8. Manija (manipulador de ajuste)
9. Puente de cabeza
- 1 O. Abrazadera grande

11. Guía metálica de perforación

12. Llaves hexagonales

3.15.6 Pruebas estadística de tracción de pernos de anclaje en la labor de la Mina Caridad de la Compañía Minera Lincuna S.A. – 2017

Las pruebas estadísticas son presentadas en las siguientes páginas:

Son presentados algunos ensayos de campo, consignándose el total de ensayos en la Tabla 9

Tabla 9. Pruebas de tracción de pernos de anclaje.

Ensayo N°01		Carga aplicada (TM)	Desplazamiento (mm)
Descripción de la prueba			
Fecha	26/02/2017	0.00	0.00
Nivel	2420	2.00	1.00
labor	RP690S	4.00	1.00
Tipo de roca	Granodiorita	8.00	2.00
GSI	MF/R	12.00	2.00
Tipo de perno	Helicoidal	14.00	2.00
Longitud	6 pies	16.00	2.00
Diámetro PHE	19mm	18.00	2.50
Diámetro tal.	38mm	20.00	2.50
Tipo de anclaje	Adherencia	22.00	2.50
		24.00	2.50
		25.00	3.00
		28.00	3.00
		30.00	3.00

Fuente: Compañía Minera Lincuna.

Son presentados algunos ensayos de campo, consignándose el total de ensayos la Tabla 10.

Tabla 10. Pruebas de tracción de pernos de anclaje.

ENSAYO N°02		Carga aplicada (TM)	Desplazamiento (mm)
Descripción de la prueba			
Fecha	26/02/2017	0.00	0.00
Nivel	2400	2.00	1.00
labor	RP690S	4.00	1.00
Tipo de roca	Granodiorita	8.00	2.00
GSI	MF/R	12.00	2.00

Tipo de perno	Helicoidal	14.00	2.00
Longitud	6 pies	16.00	2.00
Diámetro PHE	19mm	18.00	2.50
Diámetro tal.	38mm	20.00	2.50
Tipo de anclaje	Adherencia	22.00	2.50
		24.00	2.50

Fuente: Compañía Minera Lincuna.

A continuación pruebas de pull-test realizadas de los pernos helicoidales Tabla 11

Tabla 11. Pruebas de pull-test realizadas de los pernos helicoidales en el año 2017.

ENSAYO N°01			
Descripción de la prueba		Carga aplicada	Desplazamiento
		(TM)	(mm)
Fecha	26/02/2017	0.00	0.00
Nivel	2400	2.00	1.00
labor	RP690S	4.00	1.00
Tipo de roca	Granodiorita	8.00	2.00
GSI	MF/R	12.00	2.00
Tipo de perno	Helicoidal	14.00	2.00
Longitud	6 pies	16.00	3.00
Diámetro PHE	19mm	18.00	3.00
Diámetro tal.	38mm	20.00	4.00
Tipo de anclaje	Adherencia	22.00	5.50

Fuente: Compañía Minera Lincuna

A continuación pruebas de pull-test realizadas de los pernos helicoidales Tabla 12

Tabla 12. Pruebas de pull-test realizadas de los pernos helicoidales en el año 2017.

ENSAYO N°02			
Descripción de la prueba		Carga aplicada	Desplazamiento
		(TM)	(mm)
Fecha	26/02/2017	0.00	0.00
Nivel	2400	2.00	1.00
labor	RP690S	4.00	1.00
Tipo de roca	Granodiorita	8.00	2.00
GSI	MF/R	12.00	2.00
Tipo de perno	Helicoidal	14.00	2.00
Longitud	6 pies	16.00	3.00
Diámetro PHE	19mm	18.00	3.00
Diámetro tal.	38mm		
Tipo de anclaje	Adherencia		

Fuente: Compañía Minera Lincuna.

Discusiones

En la tesis de Johnny determina que el peso total que actúa sobre el perno central en el techo de una galería es la suma del peso muerto de los estratos rocosos más el componente vertical del empuje lateral (P). El resultado obtenido de 7.17 TM/m, es razonable para el caso de la Compañía Minera Arcata S.A. mientras que en el estudio realizado de la Minera Lincuna tiene una capacidad de 18 TM a 30 TM de soporte del perno helicoidal. Y se determina una diferencia entre dichas unidades mineras.

IV. CONCLUSIÓN

- El promedio de factor de seguridad del perno helicoidal se encuentra en un rango de 3.17 a 5.28.
- La capacidad de soporte del perno helicoidal está dentro de un rango de 18.00TM a 30.00TM.
- La malla de espaciamiento para los pernos helicoidal en la labor, para una roca regular B: 1.50mx1.50m, para una roca mala A: 1.20m x 1.20m, y para una roca mala B: 1.0m x 1.0 m.
- Asimismo el tiempo de soporte de los pernos helicoidal al cabo de 2 años y 7 meses se observa que aún se mantienen igual de la Compañía Minera Lincuna S.A.

- Los costos de instalación de los pernos helicoidales es de 12.54 US\$/perno.

V. RECOMENDACIONES

1. Se debe cumplir con los estándares y procedimientos de sostenimiento, de acuerdo a la recomendación geomecánica, es necesario la evaluación permanente con la realización de sondajes cortos de exploración y la implementación del monitoreo geomecánico constante hacia las zonas de profundización.
2. Del diseño de sostenimiento, se recomienda aplicar todas las especificaciones técnicas y consideraciones de diseño para la aplicabilidad de “uno u otro tipo de sostenimiento” en función a la calidad geomecánica de las rocas y al tiempo de vida útil de las excavaciones, tal y como se establece en la cartilla geomecánica. Progresivamente se debe implementar el sostenimiento mecanizado, de esta manera brindar al personal un trabajo seguro y no estar muy expuesto al terreno a sostener.
3. La supervisión de geomecánica deberá realizar permanentemente:
 - Inspección técnica de la obra (ITO), que se cumpla el diseño controlado.
 - Seguimiento de variabilidad de la calidad de la roca para definir y calibrar el sostenimiento de las excavaciones.

- Optimizar el diseño de las excavaciones (controlar el daño por voladuras).

- Anticipar la calidad del macizo rocoso y el sostenimiento.

4. En las zonas con presencia de aguas acidas, se recomienda tratar previamente los elementos de sostenimiento (pernos, mallas) mediante la aplicación de recubrimientos no metálicos, el cual consiste en proteger la superficie del metal mediante pinturas, esta tecnología es simple y muy accesible, la

VI. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

Cabello-Robles, O. L. (2018). *Guía decriterios geomecánicos en minería subterránea como herramienta para laprevención de accidentes fatales por caída de roca* (Pontificia Universidad Católica del Perú). Recuperado de <http://renati.sunedu.gob.pe/simple-search?query=cabello+robles+oscar+luis>

Castañeda-Monzón, C. (2015). *Estudio comparativo entre el perno helicoidal y el perno hydrabolt para sostenimiento y seguridad en la rampa 690s del consorcio minero horizonte* (Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac). Recuperado de <http://repositorio.unamba.edu.pe/handle/UNAMBA/327>

Corimanya-Mauricio, J. A. (2003). *Mecánica de rocas aplicada a la seguridad en*

protección se verifica de acuerdo a los siguientes mecanismos:

- Efecto barrera. La película protectora tiene muy baja difusibilidad del agua y del O₂.

- Protección galvánica: pigmentos que actúan como ánodos de sacrificio.

- Protección química: pigmentos que se vinculan químicamente al hierro.

- Mixta: es una combinación de las anteriores

minería subterránea (Sociedad Minera Corona - S.A. Manuelita y Codiciada - Unidad Morococha) (Universidad Nacional de Ingeniería). Recuperado de <http://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/415746>

Escalante-Guerra, H. A. (2017). *Mejoramiento del sistema de sostenimiento, con madera, mediante pernos split set y malla electrosoldada en labores de explotación de la Empresa «MACDESA»-Arequipa* (Universidad Nacional del Altiplano). Recuperado de http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/6129/Escalante_Guerra_Hernan_Amador.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Fabián-Flores, E. R., & Guerrero-Porras, J. P. (2017). *Aplicación de la geomecánica en*

los frentes de avances de carbón para prevenir accidentes por desprendimientos de rocas en la Cia. Minera Reyna Cristina – Ancash. UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA.

- Giraldo-Peredez, E. M. (2016). Identificación de factores para reducir accidentes por desprendimiento de rocas en minería subterránea. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, 19(junio), 47-55. Recuperado de <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/12954>
- Loayza-Solier, johnny J. (2006). *Sostenimiento mediante pernos de roca y seguridad en minas subterráneas* (Universidad nacional de ingeniería). Recuperado de http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/470/3/obregon_al.pdf
- Mamani-Barraza, L. R. (2018). *Clasificación geomecánica para el diseño de sostenimiento en la galería principal-contrata minera Peyols, U.E.A.-Ana Maria* (Universidad Nacional del Altiplano). Recuperado de <http://renati.sunedu.gob.pe/simple-search?query=mamani+barraza+lucio+raul>
- Medina-Alarcon, E. C. (2018). *Innovación de controles para la reducción de accidentes generados por desprendimiento de rocas en Unidad Minera Huachocolpa Uno de Compañía Minera Kolpa S . A .* (Universidad Nacional Mayor de San Marcos). Recuperado de <http://renati.sunedu.gob.pe/simple-search?query=medina+alarcon+efrain+cesar>
- Orellana-Mendoza, E. E. (2016). *Influencia de la calidad del macizo rocoso en accidentes por caída de rocas en minas subterráneas.* UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERU.
- Orellana-Mendoza, E. E. (2016). *Influencia de la calidad del macizo rocoso en accidentes por caída de rocas en minas subterráneas* (Universidad nacional del centro del peru). Recuperado de <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/4598/OrellanaMendoza.http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/4598pdf?sequence=1&isAllowed=y>