

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



**“APLICACIÓN DE CABLE BOLTING COMO REFORZAMIENTO
DEL SOSTENIMIENTO PARA PODER ESTABILIZAR AL
MACIZO ROCOSO, EN EL TAJO-75 DEL NIVEL 1220 EN LA
UNIDAD DE PRODUCCIÓN SAN CRISTOBAL – COMPAÑÍA
MINERA VOLCAN S.A.A.”**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

PRESENTADO POR:

WILBER MARIO PACCO HUARACHI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

PUNO – PERÚ

2019

DEDICATORIA

A mi padre Sebastian Pacco Machaca y mi madre Sebastiana Pascuala Huarachi Tacca.

A mi hermano Roger Pacco Huarachi.

A todos ustedes es una satisfacción y un privilegio dedicarles, con alegría y entusiasmo personal, profesional y también intelectual todo el tiempo invertido en este trabajo de suficiencia profesional, que no es más que la evidencia de la muestra de mi amor y cariño hacia ustedes

AGRADECIMIENTOS

Primeramente agradezco a mis padres por darme la vida, a mi madre por los valores y fuerzas para afrontar el día a día, siempre dispuesta a escucharme y darme el apoyo incondicional, también por el sacrificio que hizo para culminar la carrera profesional de Ingeniería de Minas.

Agradezco a los docentes de la Facultad de Ingeniería de Minas, que fueron parte de mi formación académica-profesional, y que estuvieron siempre dispuestos a aclarar mis dudas.

A la Universidad Nacional del Altiplano mi alma mater que me tuvo entre sus aulas durante los años de mi formación profesional.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

INDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN	8
I. INTRODUCCIÓN	10
II. MATERIALES Y METODOS.....	12
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	14
IV. DISCUSIONES	17
V. CONCLUSIONES	17
VI. RECOMENDACIONES	18
VII. AGRADECIMIENTOS.....	18
VIII. BIBLIOGRAFIA.....	18

TEMA: Sostenimiento Cable Bolting

AREA: Ingeniería de Minas

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 13 de diciembre del 2019

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Características de los Cables.....	10
Figura 2. Vista de caja techo inestable TJ-75.	10
Figura 3.a) Elementos del cable Bolting, b) Típica malla de instalación de cable bolting.	10
Figura 4. Ubicación de la U.M. San Cristóbal.....	12
Figura 5. Distribución de cableado típico para cajas incompetentes de Anderson & Grebenc, 1995	13
Figura 6. Análisis de estabilidad mediante elementos finitos del TJ -75 (veta 722)	15
Figura 7. Fluencia de esfuerzos	16
Figura 8. Dimensionamiento de cable bolting	16
Figura 9. Análisis de estabilidad con la distribución de cables bolting	16

ÍNDICE DE TABLAS

Cuadro 1. Parámetros geomecánicos	11
Cuadro 2. clasificación de la clase de roca según (Bieniawski, 1989)	13
Cuadro 3. Producción del TJ-75 (Veta 722)	14
Cuadro 4. RMR Básico y RMR Corregido, TJ 75 nivel 1220 caja piso	14
Cuadro 5. Análisis de instalación de cable bolt	17
Cuadro 6. Análisis de costo de instalación de cable bolt por materiales	17

INDICE DE ACRÓNIMOS

RQD	: Rock Quality Design
RMR	: Rock Mass Rating
GSI	: Geological Strength Index
MPa	: Mega Pascales
RCU	: Resistencia a la compression uniaxial
BUZ	: Buzamiento
DIP DIR	: Dirección de buzamiento
NE	: Noreste
N	: Norte
E	: Este
W	: Oeste
UTM	: Universal Transverse Marcator
t.	: Telada
cm.	: Centímetros
m.	: Metro
mm.	: Milímetros

“APLICACIÓN DE CABLE BOLTING COMO REFORZAMIENTO DEL SOSTENIMIENTO PARA PODER ESTABILIZAR AL MACIZO ROCOSO, EN EL TAJO-75 DEL NIVEL 1220 EN LA UNIDAD DE PRODUCCIÓN SAN CRISTOBAL – COMPAÑÍA MINERA VOLCAN S.A.A.”

“APPLICATION OF CABLE BOLTING AS A SUPPORT REINFORCEMENT TO STABILIZE THE ROCKY MACIZO, AT TAJO-75 OF LEVEL 1220 IN THE PRODUCTION UNIT SAN CRISTOBAL - COMPAÑÍA MINERA VOLCAN S.A.A.”

Bach. Wilber Mario Pacco Huarachi

Facultad de Ingeniería de Minas-Universidad Nacional del Altiplano UNA-Puno:
mariusspacco@gmail.com tel. 051 962189118

RESUMEN

La investigación se realizó en la Mina San Cristobal - Volcan Compañía Minera S.A.A., ubicada en el Distrito de Yauli, Provincia de Yauli, Departamento de Junín. El proyecto de investigación tuvo una duración de septiembre - noviembre del 2019. El **objetivo** es análisis de la aplicación de cable bolting usando como prueba piloto el tajo 75 del nivel 1220 de la unidad San Cristóbal, y que con este refuerzo adicional nos permitan desarrollar excavaciones con un factor de seguridad ($FS > 1.0$) y de este modo reducir la caída de rocas evitando dilución en los procesos de minado. De igual manera determinar el costo en materiales que se estima utilizar al Implementar el sostenimiento con cable bolting. Teniendo como **metodología** no experimental, analítico, descriptivo. Se arribó a la siguiente **conclusión**: Los problemas de inestabilidad ocasionando lajamientos y ensanchamiento a la caja techo que se incrementan al momento de ejecutar la excavación, por lo que con nuestra prueba piloto reforzamos el sostenimiento con cable bolting logrando estabilizar el TJ 75 del nivel 1220 obteniéndose un Factor de Seguridad >1.0 . y de este modo evitamos la dilución. Este sostenimiento generaría un costo de material de 1.76 \$/t, lo que es válido mencionar 4.6\$/m en material. Para realizar este tipo de sostenimiento revisamos una valoración de macizo rocoso promedio de Mineral (RMR IV-A), Caja techo (IV-A – III-B) y caja piso (III-B).

Palabras clave: Macizo rocoso, Cables bolting, estabilidad, operaciones mineras, factor de seguridad

ABSTRACT

The investigation was conducted at the San Cristobal Mine - Volcan Compañía Minera S.A.A., located in the Yauli District, Yauli Province, Junín Department. The research project lasted from September - November 2019. The objective is to raise awareness of the need to strengthen the sustainability with the application of cable bolting using as a pilot test the 75th pit of level 1220 of the San Cristobal unit, and that With this additional reinforcement, we can develop excavations with a safety factor ($FS > 1.0$) and thus reduce the fall of rocks avoiding dilution in mining processes. Similarly determine geomechanical factors that influence the performance of the bolting cable support, to preserve the stability of mining work during exploitation. And determine the cost in materials that are estimated to be used when implementing the bolting cable support. This research work is analytical, descriptive.

The following conclusion was reached: The problems of instability causing loosening and widening of the roof box that increase at the time of the excavation, so with our pilot test we reinforce the bolting cable support, stabilizing the TJ 75 of level 1220 obtaining a Safety Factor > 1.0 . and in this way we avoid dilution. This support would generate a material cost of \$ 1.76 / t, which is valid to mention \$ 4.6 / m in material. To perform this type of support, we reviewed an assessment of the average rock mass of Mineral (RMR IV-A), Roof box (IV-A - III-B) and floor box (III-B).

Keywords: Rock mass, Bolting cables, stability, mining operations, safety factor

I. INTRODUCCIÓN

En la industria minera en la explotación subterránea el sostenimiento es una actividad vital para el logro de los objetivos operacionales y son clave para asegurar la continuidad del minado y así obtener el beneficio del mineral. Compañía Minera Volcan S.A.A. Unidad San Cristóbal, viene aplicando el método el sub level stoping ascendente. Al realizar la explotación se observó el desprendimiento de bloques de roca de la caja techo, usando el sistema de refuerzo con cable bolting cementados y minimizar la dilución como prueba piloto sería el TJ-75 (Bz 45°-55°) donde se aprecia problemas de estabilidad. La investigación tiene como propósito demostrar que pueden ser estabilizados mediante la instalación de Cables Bolting. Para que la producción no se vea afectada por una posible caída de rocas, es que se planteó instalar Cables Bolting, a fin de garantizar la producción y la seguridad de los trabajadores.



Figura 1. Vista de caja techo inestable TJ-75.
Fuente: Elaboración propia

Los cables son elementos de reforzamiento, hechos normalmente de alambres de acero trenzados, los cuales son fijados con cemento dentro del taladro en la masa rocosa. El cable comúnmente usado es el denominado “trenzado simple” conformado por 6 alambres arrollado alrededor de un séptimo denominada “alma” o “toron”, que en conjunto tienen 5/8” de diámetro, con una capacidad de anclaje de 25 T. (Dávila, 2015)

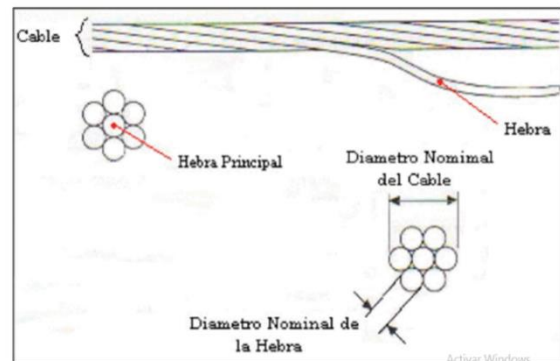


Figura 2. Características de los Cables.
Fuente: (Mucha-Armas, 2019)

El cable bolt es un tendón flexible convencional, que consta de un número de cables de acero, los que son instalados normalmente a un espaciado regular ($S=S1*S2$), anclajes típicos empleados en la operación. (Volcan, 2019)

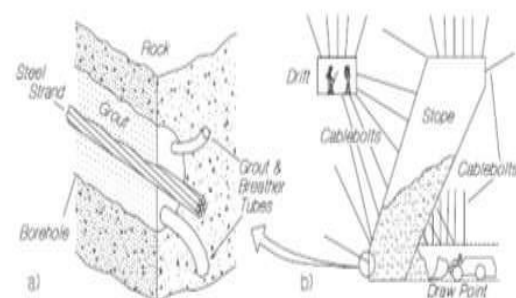


Figura 3. a) Elementos del cable Bolting, b) Típica malla de instalación de cable bolting.
Fuente: (Mucha-Armas, 2019)

(Quispe Zapana, 2009) El artículo menciona: El cable de anclaje es un dispositivo de sostenimiento eficaz, de instalación simple y rápida y de menor costo que cualquiera de los métodos de sostenimiento conocidos. Existe una gran variedad de cables para fijar la roca, que van desde los bulones de madera hasta los de tubo de fierro y varillas de acero liso y corrugado con anclajes.

(Cahuapaza Quispe, 2015) La tesis menciona: Controlar la inestabilidad de los tajeos de explotación empleando cable bolting en la zona de tajeos de explotación el macizo rocoso fue subdividido en dominios estructurales como es la caja techo lejana, caja techo cercana a la veta, mineral, caja piso cercana y caja piso lejana a la veta para identificar diferencias en el comportamiento geo estructural y de resistencia. Se definió dos sectores de diseño, el primer sector entre los Niveles 4150 al 4295 y el sector de diseño entre los niveles 3850 al 4150, para lo cual se estimaron parámetros geo mecánicos.

Cuadro 1. Parámetros geomecánicos

Sectores	Dominio	Mpa	RQD (%)	R M R	Q'	G S I
Nv 4150	CPC	80	65	50	1.95	45
Nv 4295	VET.	90	58	48	1.56	43
	CTC	120	60	50	1.95	45
Nv 3850-	CPC	100	78	55	3.39	50
Nv 4150	VET.	120	63	50	1.95	45
	CTC	150	75	57	4.24	53

Fuente: (Cahuapaza Quispe, 2015)

(Conde Castelo , 2019) La tesis menciona: Con el diseño de la instalación de los cables Bolting mellizos se logró estabilizar el echadero. Obteniéndose un Factor de Seguridad de 1.04, lo que indica que le da mayor seguridad al espacio trabajado de la Mina San Rafael.

(Mucha Armas, 2019) En su estudio Concluye que en la explotación subterránea se logra la estabilización tanto de labores pequeñas como de cámaras de grandes dimensiones con el sistema de cables cementados.

(Ortega & Pozo, 2014) En su trabajo de investigación concluye de la siguiente manera: En los puentes colgantes las deformaciones verticales dependen mayoritariamente de los cables.

(Huaman K. , 2016) En su trabajo de investigación Concluyo que El Porvenir son el resultado de la interacción de los esfuerzos, estructuras y el tipo de roca, provocados por las excavaciones subterráneas. Las observaciones, monitoreo y ensayos realizados nos han permitido definir el dimensionamiento de las labores, para un trabajo seguro.

(Bustamante, 2008) En su estudio concluye que El software Phase 2 es una herramienta importante que permite determinar entre cosas el tipo de sostenimiento de labores, tipo de voladura a realizar, que se determina la sección de excavaciones subterráneas.

Teniendo como **objetivo** de la presente investigación es el análisis de la aplicación de cable bolting usando como prueba piloto el tajo 75 del nivel 1220 de la unidad San Cristóbal, y que con este refuerzo adicional nos permitan desarrollar excavaciones con un factor de seguridad dentro del criterio de aceptabilidad ($FoS > 1.0$) y reducir los eventos de caída de rocas evitando la dilución en los procesos de minado.

Como objetivo secundario determinar el costo en materiales que se estima utilizar al Implementar el sostenimiento con cable bolting en la unidad de San Cristobal.

Teniendo como hipótesis que el sostenimiento con cable bolting podría tener una alta estabilidad y garantizar un proceso óptimo, donde se podría contribuir a mejorar y optimizar las operaciones mineras.

Los mayores problemas de estabilidad son en la caja techo por las distintas tensiones y/o fuerzas logrando que el factor de seguridad sea < 1.0 .

Los costos para implementar el tipo de sostenimiento cable Bolting son adecuados y económicamente rentables para su implementación en la unidad minera San Cristobal.

II. MATERIALES Y METODOS

La investigación fue desarrollada en la Mina San Cristobal de Volcan Compañía Minera S.A.A., está ubicada en el Distrito

de Yauli, Provincia de Yauli, Departamento de Junín, a una altitud que varía entre los 4450 a 4800 msnm. Específicamente se realizó en el TJ 75 del nivel 1220.

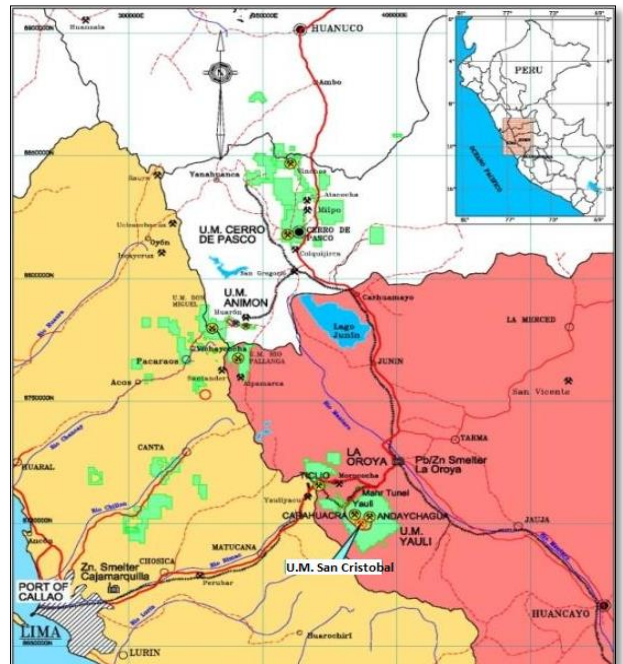


Figura 4. Ubicación de la U.M. San Cristóbal
Fuente: U.M. San Cristóbal.

Descripción de Materiales

La descripción de materiales a utilizar en la investigación, son de manera básica y social los cuales son:

- Software Mendeley: para el uso de las citas de los textos, tesis, revistas y artículos citados en la presente investigación.
- Software Phase 2
- Referencias Bibliográficas: como fuente de información.

Descripción de Método de investigación.

El presente trabajo de investigación es analítico, descriptivo y no experimental de

enfoque cuantitativo, los datos de laboratorio constituyen valores específicos que se utilizarán para una aplicación en un determinado momento para la solución al problema, considerando que la investigación descriptiva busca especificar propiedades, características y rasgos importantes de cualquier fenómeno que se analice (Hernández, 2003).

Sistema de Clasificación RMR

Esta clasificación geomecánica se basa en el índice RMR “Rock Mass Rating”, que da una estimación de la calidad del macizo rocoso en RMR básico y RMR corregido, mediante una evaluación minuciosa de las discontinuidades del macizo rocoso conformado por roca encajonante y el mineral valioso en el TJ 75 del nivel 1220, de Unidad San Cristóbal de Compañía Minera Volcan S.A.A. Este sistema fue desarrollado por (Bieniawski, 1989). El sistema considera seis parámetros de clasificación, la suma de estos parámetros da el índice RMR, Para el análisis se solicitaron al departamento de geomecánica

Cuadro 2. clasificación de la clase de roca según (Bieniawski, 1989)

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

Fuente: (Bieniawski, 1989)

Distribución de cable.

Para la distribución de los cables bolting en el tajo TJ-75 de la veta 722 se tomó como referencia la distribución de cableado típico de (Anderson & Grebenc, 1995)

La figura 05 muestra la distribución típica de los cables a fin de contener estos sectores donde por efectos de minado se genera una mayor perturbación.

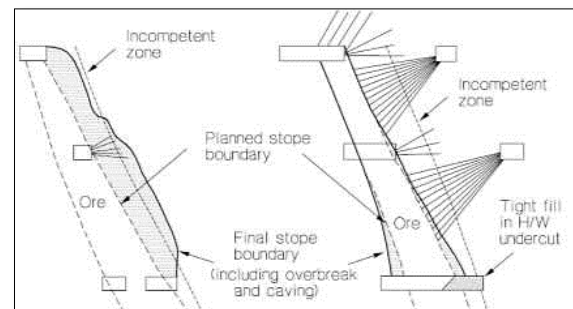


Figura 5. Distribución de cableado típico para cajas incompetentes de Anderson & Grebenc, 1995
Fuente: Departamento de geomecánica compañía minera Volcan

Descripción de técnicas y equipos utilizados

Al realizarse el sostenimiento con Cable Bolting contamos con una cuadrilla especializada en este tipo de sostenimiento y la inversión de algunos recursos como: Equipo de perforación, Bomba de inyección, Equipo telehandler

El método deductivo consiste en la descripción, comprobación de las hipótesis planteadas y relación de los resultados de la investigación entre dimensiones y con otros estudios similares utilizando modelos ocupacionales, índices, evidencias empíricas, etc.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Todos los resultados están de acuerdo al análisis del tajo TJ-75 que presenta un buzamiento promedio de 45° - 50°, donde se puede apreciar problemas de estabilidad tal como se puede apreciar en la Cuadro 3. Producción del TJ-75(Veta 722)

producción del tajo por problemas de descaje hacia la caja techo y posibles problemas de colapsos. (cuadro 03), fue elegida para realizar la prueba piloto.

veta	Tajo	Nivel	Pisos	Long. De ala	Altura Banco	Prod. Diaria	Prod. Mensual	Ley de plata	ley de zinc
722	TJ - 79	430	2 al 1	90m	12m	250 T	7000 T		
			3 al 2	120m	18m	251 T	7000 T		
			4 al 3	120m	10m	252 T	7000 T		
	TJ - 75 E-W	1220	3 al 2	260m	9.5m	500 T	15000 T	3.5	52
			4 al 3	260m	9.5m	500 T	15000 T	3.5	5.2
	TJ - 76	1220	3 al 2	90m	10m	252 T	5000 T		
4 al 3			90m	10m	252 T	5000 T			
Ramal	TJ - 80E	430	3 al 2	150m	13m	150 T	5000 T	5.1	5.9
			4 al 3	150m	13m	150 T	5000 T	5.1	5.9
	TJ - 79W	430	2 al 1	10m	13m	130 T	5000 T		
			3 al 2	130m	13m	130 T	5000 T		

Fuente: Elaboracion propia

Sistema de Clasificación RMR

Esta clasificación geomecánica se basa en el índice RMR “Rock Mass Rating”, En el cuadro se puede apreciar una estimación de la calidad del macizo rocoso en RMR básico y RMR corregido, mediante una evaluación minuciosa de las discontinuidades del macizo rocoso conformado por roca encajonante y el mineral valioso en el TJ 75 del nivel 1220, de Unidad San Cristóbal de Compañía Minera Volcan S.A.A.

Cuadro 4. RMR Básico y RMR Corregido, TJ 75 nivel 1220 caja piso

Parámetro	Resultados cuantitativos	Valoración
Resistencia a la compresión	62.15Mpa	7
RQD	68.80%	13
Espaciado	200-600mm	10
Persistencia	10-20m	1
Apertura	Ang.0.1-1.0mm	3
Rugosidad	Lig. rugosa	3
Relleno	Suave<5mm	2
Meteorización	Lig. rugosa	5
Agua subt.	seco	15
RMR Básico		59
Ajuste por orientación de discontinuidades		-5
RMR Corregido		54

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro 4. Observamos que el RMR es de 54 siendo clasificada como roca regular (III)

Determinación de esfuerzo vertical (σ_1) del TJ 75 del nivel 1220, correspondiente a la caja techo con Software Roclab 2.0.

Datos:

RMR= 54

GSI = 35

Tipo de roca= Filita

RCU= 94.19 MPa (método no destructivo). Se indica que el RMR es 54

siendo clasificada como roca mala (VI- A)

La litología que presenta el TJ 75 nivel 1220, son lutitas metamorfisadas – filitas.

Al realizarse las pruebas la valoración del macizo rocoso promedio de Mineral (RMR IV-A), Caja techo (IV-A – III-B) y caja piso (III-B).

Para el análisis se solicitaron secciones transversales al área de Planeamiento, estas secciones deben interceptar la influencia con el macizo rocoso de la estructura mineralizada. Para el análisis se consideraron secciones transversales que representen el mejor escenario para el análisis, conservando la perpendicularidad de las trazas y las excavaciones para evitar errores al momento de análisis las excavaciones.

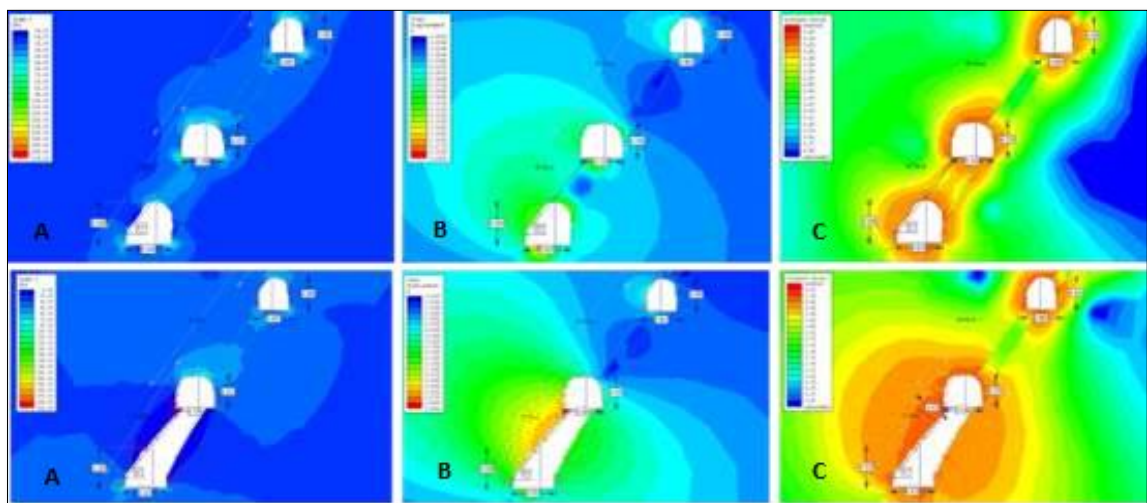


Figura 6. Analisis de estabilidad mediante elementos finitos del TJ -75 (veta 722)

Fuente: Elaboración propia

La figura 6, muestra la respuesta del macizo rocoso al realizar la excavación del TJ-75, en la parte superior del análisis se puede apreciar la concentración de tensiones en las coronas de las excavaciones realizadas (subniveles) y la influencia de los desplazamientos que se incrementan al momento de ejecutar la

excavación, siendo estos sectores de concentración de tensiones y mayores desplazamientos los que se recomiendan controlar con los cables de 6.0m de largo, estos deben ser cementados y distribuidos en una malla de 1.50 x 2.50 m, en las zonas de mayor influencia (inflexiones y/o cambios de buzamientos bruscos) se

deberá reducir el espaciamiento de los mismos,

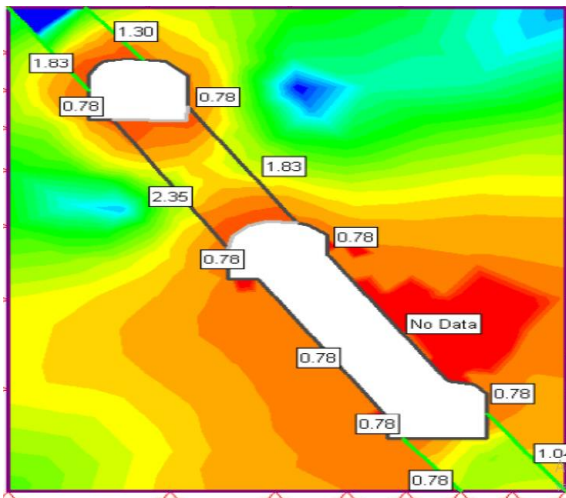


Figura 7. Fluencia de esfuerzos
Fuente: Elaboración propia

En la figura 7 modelado en el software Phase 2 se puede apreciar la fluencia de los esfuerzos actuantes en el tajo TJ-75 de la veta 722

Es importante calcular los valores de factor de seguridad en el contorno de las excavaciones, a fin de determinar la profundidad de falla y con este valor calcular la longitud del anclaje a emplear y la capacidad de carga que se demanda.

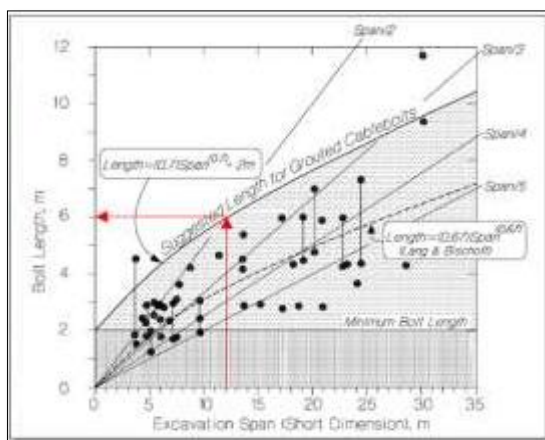


Figura 8. Dimensionamiento de cable bolting
Fuente: elaboración propia

En la presente imagen se puede observar el dimensionamiento de los cables bolting de acuerdo a la excavación del tajo donde mediante este abaco nos da una longitud de cable bolt de 6 metros de longitud hacia la corona y caja techo de la excavacion

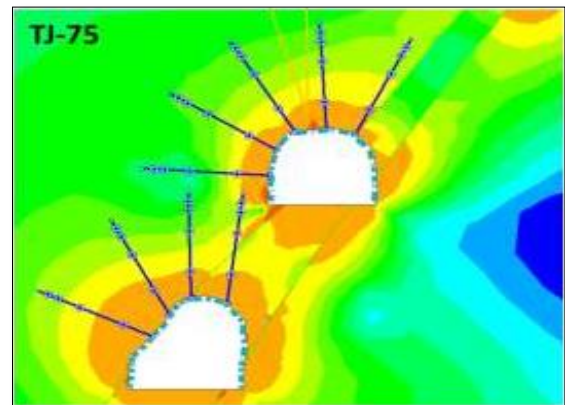


Figura 9. Analisis de estabilidad con la distribución de cables bolting
Fuente: Elaboración propia

La figura 9, muestra la distribución del cableado a fin de reducir las zonas de inestabilidad producto del minado en el TJ-75 (buzamiento de 50°), Se puede apreciar que los anclajes superan las zonas de inestabilidad ($FS < 1$), siendo estos cables de 6.0m de longitud hacia la corona y caja techo de la excavación.

El radio de plastificación (Depth & Villaescusa , 2014) en las zonas de inestabilidad (caja techo) alcanzan los 4.0m, por lo que se recomienda que los elementos de anclaje sean de 6.0m de longitud.

Análisis de costos

En esta etapa inicial se requieren realizar pruebas de instalación de estos elementos,

la cuadro 5 muestra el análisis económico para el refuerzo de las cajas del TJ-75 de inversión de materiales e inversiones perteneciente a la veta 722

Cuadro 5. Análisis de instalación de cable bolt

Tajo	Ve	Buz.	Long.	H de banco	Tn	Esp. Cable	N° cable	Metraje	Costo cable	Costo Cemento	Costo tubería	Costo material
75	2	45°-				1.50x						
75	2	55°	260	9.5	15000	2.50	840	5040	13608	3024	9828	26460
75	2	45°-				1.50x						
75	2	55°	260	9.5	15000	2.50	840	5040	13608	3024	9828	26460

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 6. Análisis de consto de instalación de cable bolt por materiales

Material	costo
Inversión “Bomba de inyección”	us\$ 10,000
Cable	us\$ 2.7
Cemento	us\$ 0.1
Tubo inyección	us\$ 1.3

Fuente: Elaboración propia

El TJ-75, tiene aun 05 block por explotar (3-2 y 4-3) y una producción estimada de 30,000 t, para este proceso se requerirán en promedio 1680 cables (6m de longitud) para los 260m de ala de cada block, considerando los costos establecidos por los productos (sin MO y sin inversión de la bomba de inyección) se generaría un impacto positivo en el costo (\$/t) de este tajeo de 1.76 \$/t. En este análisis no se consideró la inversión de la bomba, la mano de obra que realizará el servicio y se consideró adicionalmente que la perforación se realizará con equipos de Volcán por lo que este costo no influiría en el análisis.

IV. DISCUSIONES

(Mucha-Armas, 2019) En su trabajo de investigación concluye que El uso del cable bolting como reforzamiento del sostenimiento del tajo, desde el punto de vista geomecánico es debido a: al efecto de la voladura, tamaño y geometría de la labor minera, el desatado de la rocas y su índice RQR

En la presente investigación el uso de cable bolting como reforzamiento es debido a la calidad de la roca y la dilución existente en el tajo TJ-75 del nivel 1220

V. CONCLUSIONES

El tajo TJ-75 del nivel 1220 presenta una litología de lutitas metamorfisadas con una valoración de macizo rocoso promedio de Mineral (RMR IV-A), Caja techo (IV-A – III-B). donde la influencia de los desplazamientos se incrementan al momento de ejecutar la excavación, siendo estos sectores de concentración de tensiones y mayores desplazamientos, por lo que la aplicación del cable bolting como refuerzo con cables de 6.0m de largo y la

distribución adecuada de los cables superan las zonas de inestabilidad obteniéndose un Factor de Seguridad >1.0 . y de este modo evitamos la dilución.

La instalación de cable bolting en las operaciones de la mina San Cristobal en la veta 722 (TJ-75 y 76), este sostenimiento generaría un costo de material de 1.76 \$/t, lo que es válido mencionar 4.6\$/m en material, y en resumen con base en la experiencia por este servicio de un tercero este costo global puede ser de hasta 15.0\$/m.

VI. RECOMENDACIONES

En vista del funcionamiento del sostenimiento de cable bolting para el TJ 75 nivel 1220 y la rentabilidad de los precios, se recomienda implementar este tipo de sostenimiento a los tajos de igual condición de inestabilidad de la unidad minera San Cristobal para lograr una mayor producción de Telaje y cero accidentes.

VII. AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional del Altiplano Puno, a la escuela profesional de Ingeniería de Minas, por sus enseñanzas impartidas para mi formación profesional.

A mis compañeros de trabajo de SAN CRISTOBAL, COMPAÑÍA MINERA VOLCAN S.A.A , de igual manera a los integrantes del área de Geomecánica y

Planeamiento por facilitarme los datos para la ejecución de este trabajo.

VIII. BIBLIOGRAFIA

Bernal, C. (2016). . *Metodología de la investigación (Segunda ed.)*. (F. Hernández, Ed.) Pearson Educación. México, México D.F.

Bieniawski, Z. (1989). *Engineering Rock Mass Classifications - Z T Bieniawski (The Pennsy)*. Obtenido de <https://doi.org/https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=pejDUvjwPdMC&oi=fnd>

Bustamante, A. (2008). *Geomecánica aplicada en la prevención de pérdidas por caída de rocas Mina Huanzala.- CIA Santa Luisa S.A.* Universidad Nacional de Ingeniería., Lima, Lima.

Cahuapaza Quispe, H. G. (2015). *“Sostenimiento de tajeos con Cables Bolting en la Unidad Minera San Rafael”*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.

Conde Castelo , Y. (2019). *“Análisis del macizo rocoso y su aplicación de cables bolting en la ejecución de echaderos de relleno detritico en la mina San Rafael Melgar - Puno”*. Cusco: Universidad Nacional San AnTio Abad del Cusco.

- Dávila, P. (2015). *Prueba de arranque a los Cables Bolting. Cusco: Minera San.*
- Depth, o., & Villaescusa. (2014). *Ground Support Design for Sudden and Violent Failures in Hard Rock Tunnels.*
- Hernández, F. y. (2003). *Investigación científica.*
- Huaman, K. (2016). *El cable Bolting como sostenimiento del macizo rocoso en la unidad minera del porvenir compañía minera Milpo. Cerro de Pasco: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion. Recuperado el 17 de octubre de 2019.*
- Mucha Armas, A. R. (2019). *“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.”. Cerro de Pasco.*
- Niño, V. (2011). *Metodología de la Investigación. Bogota, Colombia: Ediciones de la U 2011.*
- Ortega, M., & Pozo, J. (2014). *Análisis no lineal de cables y su aplicación para puentes atirantados y colgantes. Cuenca, Ecuador: Universidad de Cuenca. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/20817/1/tesis.pdf>*
- Quispe Zapana, P. S. (2009). *Empleo del cable bolting en mina subterránea. Universidad Nacional del Altiplano. Facultad de Ingeniería de Minas., Puno.*
- Volcan. (2019). *Compañía Minera Volcan – Unidad San Cristobal.: Departamento Geomecanica. Cerro de Pasco.*
- volcan, U. m. (2019). *Departamento planeamiento. Cerro de Pasco.*
- Mucha-Armas, A. R. (2019). *Aplicación de cable bolting como reforzamiento del sostenimiento para poder estabilizar el macizo rocoso, en la unidad de producción Carahuacra - Compañía Minera Volcan S.A.A. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion.*