

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



ANÁLISIS DEL MACIZO ROCOSO Y LA DETERMINACIÓN DE SOSTENIMIENTO
PARA EL CONTROL DE ZONAS CRÍTICAS PROPENSAS AL ESTALLIDO DE ROCAS

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

PRESENTADO POR:

ROLANDO DURAN BARRIOS

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**

ANÁLISIS DEL MACIZO ROCOSO Y LA DETERMINACIÓN DE SOSTENIMIENTO
PARA EL CONTROL DE ZONAS CRÍTICAS PROPENSAS AL ESTALLIDO DE ROCAS

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PRESENTADO POR:

ROLANDO DURAN BARRIOS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

APROBADO POR:

PRESIDENTE

:

Dr. JUAN MAYHUA PALOMINO

PRIMER MIEMBRO

:

Ing. DAVID VELÁSQUEZ MEDINA

SEGUNDO MIEMBRO

:

M Sc. LUCIO QUEA GUTIERREZ

TEMA: Análisis de macizo rocoso y determinación de sostenimiento

AREA: Ingeniería de Minas

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 30 de Octubre del 2019

DEDICATORIA

A mi madre Angela Ynes Barrios Gallegos.

A mi pareja Pamela Milagros Llano Mamani y mi Hijo Bahir Adolfo Joan Duran Llano.

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.

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN MODALIDAD ARTICULO**CIENTÍFICO****ÍNDICE GENERAL****DEDICATORIA****AGRADECIMIENTOS****ÍNDICE DE FIGURAS****ÍNDICE DE TABLAS****INDICE DE ACRÓNIMOS**

I. TITULO.....	9
II. RESUMEN.....	9
III. INTRODUCCIÓN:	10
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	11
V. RESULTADOS.....	16
VI. DISCUSIONES.....	22
VII. CONCLUSIONES.....	22
VIII. AGRADECIMIENTOS.....	22
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	23

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación geográfica de la unidad minera El Porvenir	12
Figura 2 Diagrama del sistema de sismicidad.	13
Figura 3. Ondas registradas por los QS.	14
Figura 4. Tabla G.S.I. Modificado por Milpo.	14
Figura 5. Abaco del Índice Q para determinación de sostenimiento.....	15
Figura 6. Relación de RMR, GSI e Índice Q para diseño de sostenimiento	15
Figura 7. Distribución de eventos sísmicos por zonas.....	16
Figura 8. Distribución de eventos sísmicos por magnitud.....	16
Figura 9. Magnitud y Cantidad de eventos por zonas	16
Figura 10. Relación diámetro broca vs. Ton. Soportado.....	20
Figura 11. Tipo de perno vs resistencia de soporte	22

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Sistemas de discontinuidades	17
Tabla 2. Mapeo geomecánico	17
Tabla 3. Ocurrencia calidad de la masa rocosa	18
Tabla 4. Resistencia de la roca	18
Tabla 5. Sostenimiento recomendado.....	18
Tabla 6. Prueba de arranque en el nivel -830	19
Tabla 7. Prueba de arranque Split Set.....	19
Tabla 8. Prueba de arranque Perno Helicoidal	20
Tabla 9. Cuadro comparativo de los pernos de sostenimiento	21

INDICE DE ACRÓNIMOS

SFRS	: Steel Fiber Reinforced Shotcrete
JRC	: Joint Roughness Coefficient
RQD	: Rock Quality Design
RMR	: Rock Mass Rating
GSI	: Geological Strength Index
MPa	: Mega Pascales
UCS	: Uniaxial Compressive Strength
DIP	: Buzamiento
DIP DIR	: Dirección de buzamiento
NE	: Noreste
N	: Norte
E	: Este
W	: Oeste
UTM	: Universal Transverse Marcator
t.	: Tonelada
cm.	: Centímetros
m.	: Metro
mm.	: Milímetros
Li.	: Libras

Rock mass analysis and determination of support for the control of critical areas prone to the rock burst

Bach. Rolando Duran Barrios.

Facultad de Ingeniería de Minas - Universidad Nacional del Altiplano Puno – Perú – Av. Floral 1153 (rolando220793@gmail.com, cel.051958025030)

ABSTRACT

In Peru many mining companies have been encountering rock burst problems. The Unidad Minera El Porvenir presented these phenomena from level 600 causing accidents and the reason for conducting the investigation has been a problem, and the objective is to identify critical areas prone to rock eruption, analyze them and determine the support that best suits This type of terrain by means of geomechanical characterization , a quasi-experimental, descriptive and analytical methodology was used , which consists in the collection of through data and seismic monitoring, zoning the areas of greatest magnitude and performing the geomechanical characterization, determining the support through modified GSI , RMR and Q index, to then make a comparison of the types of support determined. The result was that the south low was the most critical where black limestones predominate brecciated and limestone marmolizadas with average RMR 55 with resistance to simple compression greater than 80Mpa where the determined support by empirical relationships RMR, GSI and index Q, were systematic bolts with shocrete reinforcement but the durabar dynamic bolt It is the one that has dynamic characteristics and greater support, thus concluding that the lower south zone of the El Porvenir Mining Unit are the most critical areas prone to rock eruption, having in this area rocks of regular quality to good and rigid so that the best fit is the durabar dynamic bolt .

KEY WORDS: geomechanical characterization, seismicity, rock burst, support

Análisis del macizo rocoso y la determinación de sostenimiento para el control de zonas críticas propensas al estallido de rocas

RESUMEN

En el Perú muchas empresas mineras vienen encontrándose con problemas de estallido de rocas. La Unidad Minera El Porvenir presento estos fenómenos desde el nivel 600 ocasionando accidentes y viene siendo un problema de ahí el motivo para realizar la investigación y se plantea como **objetivo** identificar zonas críticas propensas al estallido de rocas analizarlos y determinar el sostenimiento que mejor se adecua a este tipo de terreno mediante la caracterización geomecanica, se usó una **metodología** cuasi-experimental, descriptivo y analítico que consiste en la recolección de datos mediante monitoreo sísmico, zonificar las zonas de mayor magnitud y realizar la caracterización geomecanica, determinando el sostenimiento mediante GSI modificado, RMR e índice Q, para luego realizar una comparación de los tipos de sostenimiento determinados. Los **resultados** fue que la zona sur baja fue la más crítica donde predominan las calizas negras brechosas y caliza marmolizadas con promedio de RMR 55 con resistencia a la compresión simple mayores a 80MPa donde el sostenimiento determinado por relaciones empíricas RMR,GSI e Índice Q, fueron pernos sistemáticos con refuerzo de shocrete pero el perno dinámico durabar es el que tiene características dinámicas y mayor soporte llegando así a la **conclusión** de que la zona sur baja de la Unidad Minera El Porvenir son las zonas más críticas propensas al estallido de rocas teniendo en esta zona rocas de calidad regular a buena y rígidas por lo que el sostenimiento que mejor se adecua es el perno dinámico durabar.

PALABRAS CLAVES: caracterización geomecanica, sismicidad, estallido de rocas, sostenimiento.

INTRODUCCIÓN:

Durante los últimos años muchas de las minas que vienen trabajando labores de profundidad han presentado problemas con la estabilidad de los macizos rocosos debido a la presión litostática. La Unidad Minera El Porvenir en la actualidad viene realizando sus labores a grandes profundidades mayores al nivel 1140 y también enfrentándose a bastantes problemas con la estabilidad de la roca y uno de los más frecuentes son los fenómenos de estallido de rocas que se vienen originando ya desde el nivel 600, siendo estos fenómenos uno de los mayores peligros para causar graves accidentes de trabajo dentro de la Unidad Minera.

(OSINERGMIN, 2018) “En la Unidad Minera Retamas, se constató que el accidente ocurrido el día 27 de febrero del 2018 en la Galería 10173 Norte, CC40 zona Valeria, fue a causa del estallido de rocas (...). Además esta labor se encuentra a una profundidad de 1162 m, en una roca rígida (granito) con RMR entre 30-40.”

Las condiciones que provocan el estallido de rocas no solo son tres condiciones como menciona (Cubas-Castro, 2009) en su investigación al decir que los estallidos de roca son acontecimientos repentinos, violentos que plantean un serio riesgo a la seguridad causando pérdidas y además son tres condiciones que se combinan para provocar un estallido de roca: un alto estado de tensión; alta rigidez o fuerza de la roca; y la existencia de caras libres. Sino que

también son producto del minado que da lugar a una actividad sísmica, que varía desde eventos micro sísmico, tan pequeño como 10 a 5 Joules (energía irradiada por el evento sísmico), a temblores tan grandes como 109 Joules. Los estallidos de rocas se incrementan con la magnitud de la energía liberada como lo dice en su investigación (Callupe-Huaranga, 2016). Y a medida que la mina va profundizando los esfuerzos de la roca van aumentando pudiendo llegar a ser más severos y frecuentes prediciendo la distribución de los estallidos de roca de manera q los trabajadores puedan ser retirados de la zona de peligro y reforzar el sostenimiento y el daño puede ser mitigado adelantándose al acontecimiento(Cubas-Castro, 2009).

Debido a la problemática del fenómeno de estallido de rocas, en la actualidad muchos autores definen el tema y tratan de controlar el problema mediante el monitoreo sísmico.(Zuñiga, Escalante, Emanas- Mengong, & Franca, 2013) en su investigación concluye que el monitoreo sísmico es un método eficaz para detectar la iniciación y progreso del fracturamiento en la masa rocosa, siendo un medio para alertar altas concentraciones de esfuerzos. De allí, que es recomendable conducir monitoreo sísmico en minas subterráneas para monitorear la posible ocurrencia de un estallido de roca. Otros investigadores tratan de controlar mediante el sostenimiento como (Mamani-Escarcena, 2014) que en su tesis dice que a manera de

control en la mina Uchucchacu se utiliza malla metálica electro soldada generalmente de #12/10 con cocadas de 4*4 con apoyo de shocrete en zonas donde hay problemas de estallido de rocas para evitar proyecciones violentas de rocas que puede afectar al personal y/o equipo que está trabajando.

Mediante el presente estudio se prevee **contribuir** a estudios q analizan comportamientos de tipos de sostenimientos activos frente a un ambiente dinámico y también a la confiabilidad de la seguridad del minado en muchas empresas mineras que tienen este tipo de problemas teniendo como **propósito** reducir fenómenos de estallido de rocas en la Unidad Minera El Porvenir identificando las zonas más críticas mediante el monitoreo sísmico, también analizando dichas zonas el comportamiento del macizo rocoso teniendo en cuenta la importancia de este análisis y la mención de (Adco-Marron, 2018) al decir en su tesis que la caracterización del macizo rocoso es una tarea de observación, mediciones y ensayos para obtener parámetros cuantitativos útiles al diseño ingenieril (...). Y también tomando el criterio de (Marquez-Olivera, 2018) cuando dice que al tener en cuenta dichos parámetros que no podemos cambiar y al caracterizarlos de forma adecuada podemos generar condiciones para mejorar la estabilidad de las excavaciones.

El sostenimiento de las labores subterráneas tienen que garantizar la seguridad y la eficiencia de los métodos de explotación y para

que este sea eficiente se realiza la correcta indagación y evaluación estructural del macizo rocoso y así iniciar la confiabilidad de la seguridad y productividad (Ceras-Cuadros, 2015).

Teniendo como **hipótesis** que las zonas con magnitudes más fuertes de sismicidad podrían darse en las zonas más bajas del lado sur de la unidad minera debido a la calidad de roca observada y la profundidad. El tipo de sostenimiento que mejor se adecue a este tipo de terreno podría ser un sostenimiento activo capaz de tener comportamientos dinámicos parecidos o mayores a la del macizo rocoso.

El **objetivo** principal del presente estudio es identificar las zonas críticas propensas al estallido de rocas analizarlos y geográficamente determinar el sostenimiento que mejor se adecua a este tipo de terreno mediante la caracterización geomecanica.

MATERIALES Y MÉTODOS.

La Unidad Minera El Porvenir del grupo Milpo políticamente pertenece al distrito de Yarusyacan, provincia de Cerro de Pasco, de la región Andres Avelino Caceres, está situado a 16 km. Al NE de la localidad de Cerro de Pasco

Geográficamente se ubica en el tramo de la Cordillera Central que forma el nudo de Pasco, en el flanco E de la gran falla Atacocha – Milpo, entre los ríos Tingo y Huallaga, a la altura de 4,100 m.s.n.m.

Su situación precisa es la intersección de las coordenadas:

10° 35' de latitud Sur 76° 12' de longitud W.



Figura 1 Ubicación geográfica de la unidad minera El Porvenir

Métodos de investigación.

La metodología de la investigación en una investigación de campo cuasi-experimental, descriptivo, analítico ya que consiste en la recolección de datos de eventos y magnitudes sísmicas para zonificar las zonas críticas y una vez zonificada realizar la recolección de datos, analizar y describir las propiedades y características geomecánicas que se obtuvieron mediante el método directo por celdas de detalle en dicha zona crítica directamente del macizo rocoso sin manipular ni alterar las condiciones existentes y correlacional por que se pretende medir y describir la relación de la calidad del macizo rocoso y la estabilidad de la

excavación lo que no lleva a plantear alternativas de control.

Para el monitoreo sísmico se ha realizado el método comparativo al comparar resultados de acuerdo a la cantidad y magnitud de eventos sísmicos. Estos geófonos están instalados en los niveles -770, -970 y -1170, estos detectan y almacenan los eventos sísmicos generados durante las 24 horas del día, esta información analógica es mostrada en forma de ondas en un programa de software llamado “jmts”, y determinan exactamente su magnitud y ubicación a través de coordenadas UTM.

Para la caracterización geomecánica se ha usado el método directo por celda de detalle donde los valores de resistencia compresiva fueron estimados mediante índices de campo (uso de la picota), y dichos valores fueron corroborados y ajustados con los ensayos de laboratorio llevados a cabo en el laboratorio de la Universidad Nacional de Ingeniería. Así mismo, los valores del RQD% fueron estimados con la relación de Priest y Hudson mediante la frecuencia de discontinuidades por metro lineal. Para clasificar geomecánicamente la masa rocosa se ha usado el Sistema de Valoración de la masa rocosa, se ha utilizado el criterio Bieniawski (1989).

El sistema de clasificación RMR, Bieniawski, utiliza múltiples factores a tomarse en cuenta al momento de realizar la clasificación, a diferencia de métodos anteriores o contemporáneos con el mismo, éste acentúa la

necesidad de cuantificar las características en el proceso, ya que en otros tipos de clasificaciones son solo percepciones muy empíricas. Este método ofrece una fiabilidad en cuanto a la aplicación del método, pero así mismo presenta ciertas dificultades como los valores medios de cada tramo analizado (Velasco-Redroban, 2016).

Para determinación de sostenimiento se ha utilizado el método comparativo los tipos de sostenimientos de acuerdo a sus características.

Técnicas utilizadas en la investigación.

Las técnicas de recolección de datos.

- La observación directa al analizar el macizo rocoso y obtener información real que no alteren la evaluación.
- El trabajo en campo donde se recopiló datos para la evaluación del macizo rocoso
- Recopilación documental y bibliográfica donde se revisaron tesis, artículos científicos, informes, estudios, registros de ensayos donde te permiten conocer
- como definen e investigan el problema de esta investigación
- Análisis contenidos que permite reducir y sistematizar cualquier de tipo de investigación contenida en registros e información documentaria.

Técnicas de procesamiento de datos.

Para el análisis de los datos recopilados primero se llevó el registro de campo, en una base de datos, se ordenó y se clasificó toda la información necesaria para ser el análisis respectivo del contenido. La información obtenida se organizó en cuadros, gráficos representativos.

Materiales y equipos usados en la investigación.

Sismicidad en la unidad.

Se utilizó un Sistema Integrado de Monitoreo Sísmico que cuenta la Unidad Minera El Porvenir, el cual cuenta con.

- Computadora
- Quake Sismometer (QS)
- Switch
- Geófonos Uniaxial.
- Geófono Triaxial.
- Seismic Data

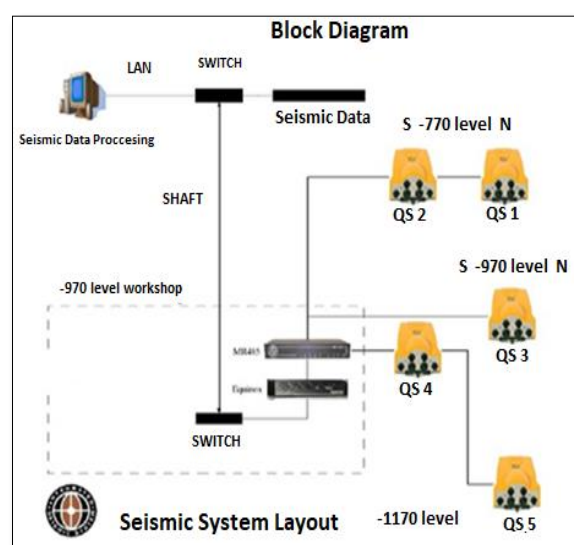


Figura 2 Diagrama del sistema de sismicidad.

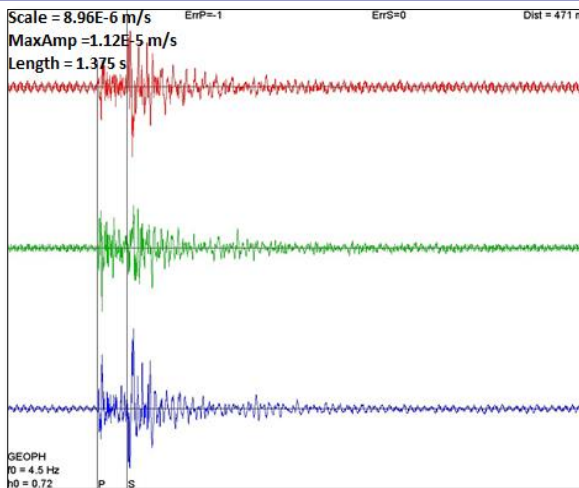


Figura 3. Ondas registradas por los QS.

Caracterización de la masa rocosa.

Para la caracterización geomecánica en interior mina se utilizaron:

- Brújula, Libreta de campo, Picota, Vernier, Mapas, Wincha, Lupa

Determinación de Sostenimiento.

Para la determinación de sostenimiento se usaron ábacos de sostenimiento utilizando GSI modificada por el área de Geomecánica de la Compañía Minera Milpo, RMR, e Índice Q.

MILPO ANDINA PERU SAC. SOSTENIMIENTO SEGÚN G.S.I. (Modificado)		CONDICIONES SUPERFICIALES			
A	SIN SOPORTE - PERNOS OCASIONALES	BUENA (MUY RESISTENTE, FRESCA) Superficies de las discontinuidades muy rugosas e inalteradas, cerradas. (rc 100 a 250 MPa) (se rompe con varios golpes de la picota).	REGULAR (RESISTENTE, LEVEMENTE ALTERADA) Discontinuidades rugosas, levemente alteradas, manchas de oxidación, ligeramente abiertas (rc. 50 a 100 MPa) (se rompe con uno o dos golpes de la picota)	MALA (MODR. RESIST. LEVE A MODERADA, ALTERADA) Discontinuidades lisas moderadamente alteradas, ligeramente abiertas (rc. 25 a 50 MPa) (se indenta superficialmente con golpes de la picota)	MUY MALA (BLANDA MUY ALTERADA) Superficie pulida o con estrías, muy alterada relleno compacto o con fragmentos de roca (rc. 5 a 25 MPa.) (Se indenta mas de 5mm.).
B	PERNOS SISTEMATICOS 1.50 X 1.50 m. (Malla o cinta ocasional)				
C	PERNOS SISTEMATICOS 1.20 X 1.20 m. (Malla o cinta ocasional)				
D	PERNOS SISTEMATICOS 1.00 X 1.00 m. Malla o refuerzo obligatorio (SHOCRETE 5.0 cm. Sin fibra)				
E	PERNOS SISTEMATICOS 1.00 X 1.00 m. Mas (SHOCRETE 5.0 cm. Con fibra)				
F	PERNOS SISTEMATICOS 1.00 X 1.00 m. Mas SHOCRETE 10.0 cm. Con fibra. (Cimbra o Cuadro de madera)				
ESTRUCTURA					
	LEVEMENTE FRACTURADA tres o menos sistemas de discontinuidades muy espaciadas entre si (RQD 75-90%) 2 a 6 fracturas por metro	(A) LF/B	(A) LF/R	(C) F/M	—
	MODERADAMENTE FRACTURADA muy bien trabada, no disturbada, bloques cúbicos formados por tres sistemas de discontinuidades ortogonales (RQD 50 a 75%) (6 a 12 fracturas por metro)	(A) F/B	(A) F/R	(A) LF/M	(D) F/MM
	MUY FRACTURADA moderadamente trabada, parcialmente disturbada, bloques angulosos formados por cuatro o más sistemas de discontinuidades (RQD 25 a 50%) (12 a 20 fracturas por metro)	(A) MF/B	(C) MF/R	(D) MF/M	(E) MF/MM
	INTENSAMENTE FRACTURADO plegamiento y fallamiento con muchas discontinuidades interceptadas formando BLOQUES ANGULOSOS O IRREGULARES (RQD 0 a 25%) (MAS DE 20 FRACTURAS POR METRO).	(C) I/B	(D) IF/R	(E) IF/M	(F) IF/MM

Figura 4. Tabla G.S.I. Modificado por Milpo.

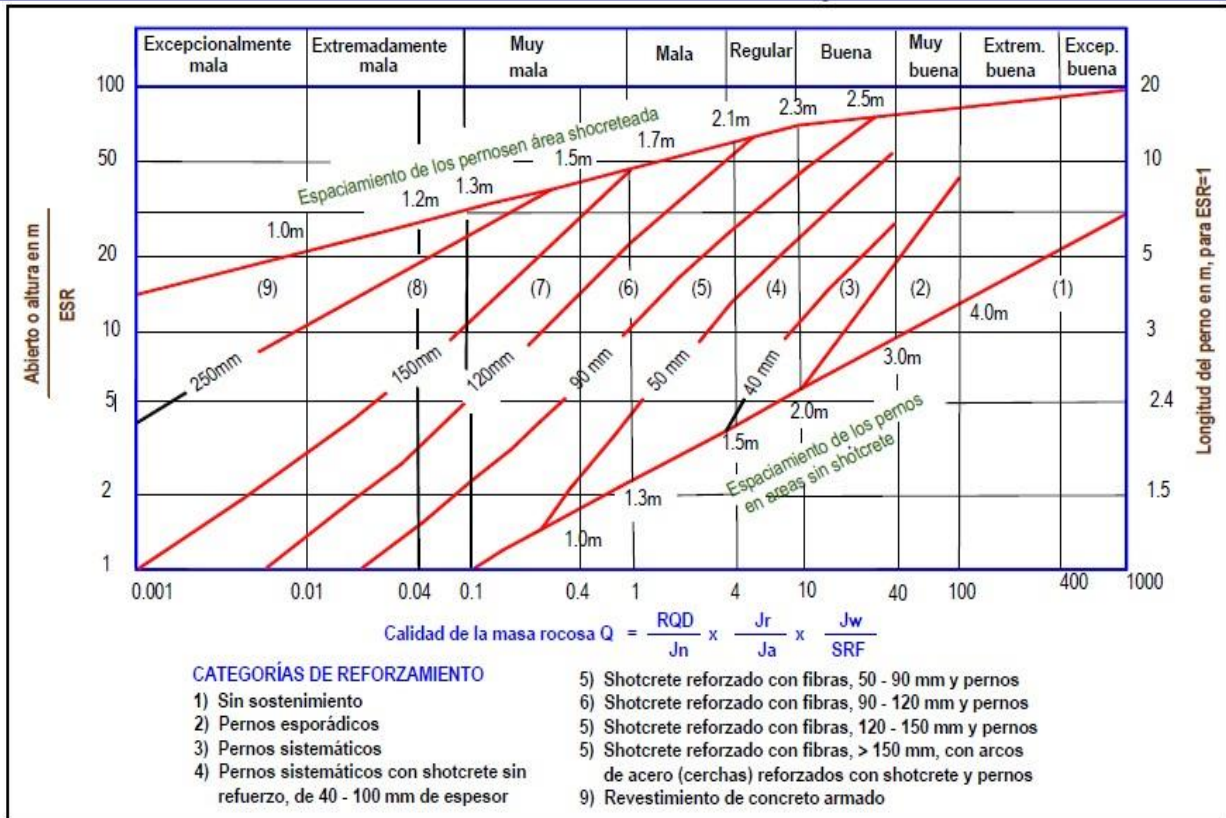


Figura 5. Abaco del Índice Q para determinación de sostenimiento.

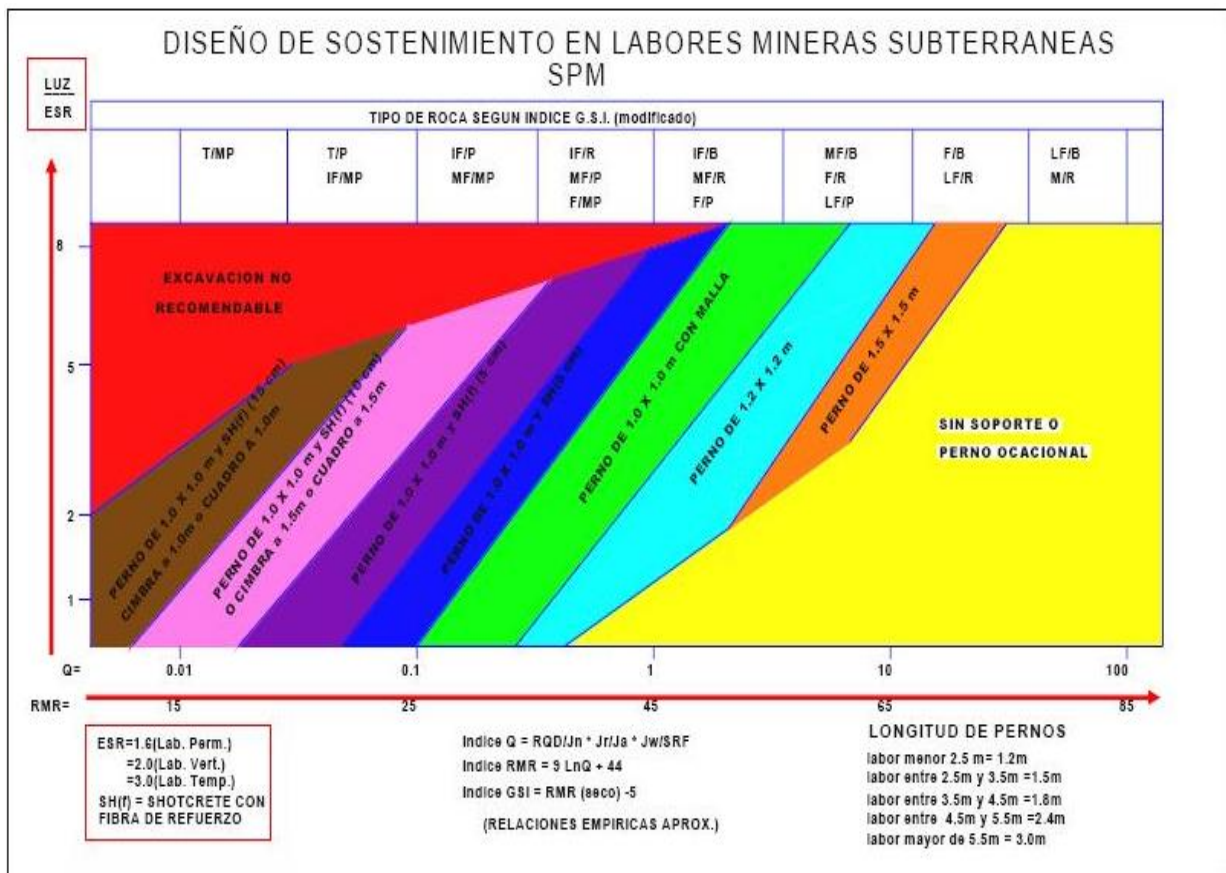


Figura 6. Relación de RMR, GSI e Índice Q para diseño de sostenimiento

RESULTADOS.

Mediante el monitoreo sísmico se pudo identificar zonas más propensas al estallido de rocas de acuerdo la cantidad y magnitud de los eventos sísmicos.

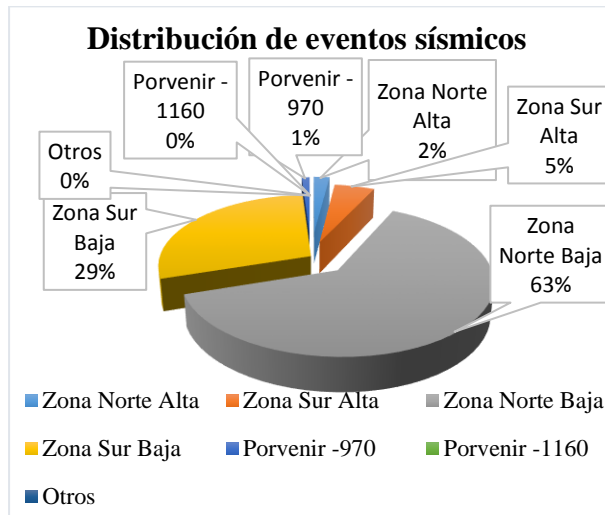


Figura 7. Distribución de eventos sísmicos por zonas

La mayor cantidad de eventos sísmicos se reportaron en las zonas bajas donde la zona sur baja se registró el doble de lo que se registró en la zona sur sabiendo que en la zona sur se registró un 29%.

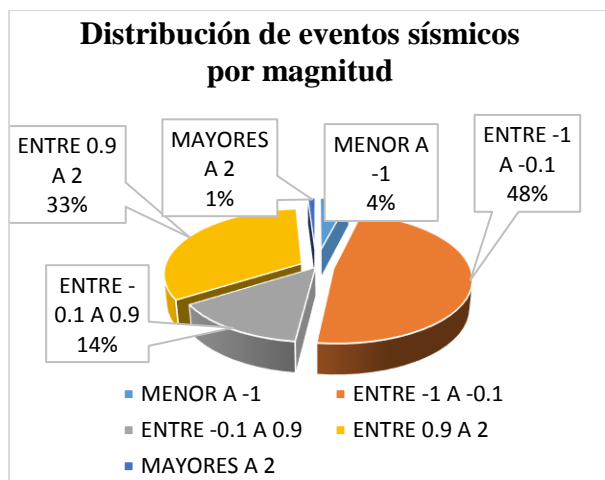


Figura 8. Distribución de eventos sísmicos por magnitud

Los eventos más fuertes con magnitudes desde 0.9 hasta mayores de 2 se dieron en un 34% de todos los eventos sísmicos que se dieron en la mina que es lo que nos interesa para realizar el análisis del macizo rocoso.

Los eventos más fuertes con magnitudes desde 0.9 hasta mayores de 2 se dieron en un 34% de todos los eventos sísmicos que dieron en la mina que es lo que nos interesa para realizar el análisis del macizo rocoso.

Los eventos superiores a +1.0 se sienten como un disparo en una zona cercana. Eventos por encima de +2.0 son potencialmente peligrosos para las operaciones ya que son desprendimientos violentos de roca y pueden llegar a percibirse a grandes distancias, incluso hasta superficie.

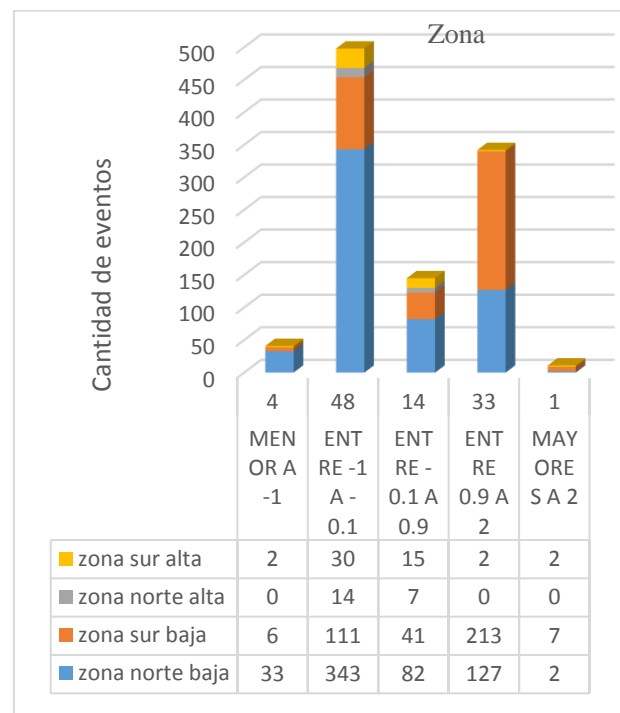


Figura 9. Magnitud y Cantidad de eventos por zonas

En el año 2017 los eventos sísmicos de mediana magnitud y de gran magnitud se presentaron con mayor frecuencia en las zonas baja sobre todo en la zona sur baja quedando esta zona como la más crítica propensa al fenómeno de estallido de rocas de gran intensidad.

Caracterización del macizo rocoso en la zona crítica sur baja en la Unidad Minera El Porvenir.

En la zona sur se pudo observar que la roca predominante son las calizas conformadas principalmente por calizas negras brechosas y

calizas marmolizadas. Con 4 familias de discontinuidades donde tres de ellas son principales y una secundaria.

Tabla 1. Sistemas de discontinuidades

Sector	Sist. 1	Sist. 2	Sist. 3	Sist. 4
Rumbo/ Buzam.	N04°W /72°	N79°W/ 45°	N68°W /71°	N57°E/ 75°
Dip.Dir.. /Buzam.	086°/ 72°	191°/ 45°	022°/ 71°	327°/ 75°

Tabla 2. Mapeo geomecánico

Litología	Grado alteracion	Resist. a compresion	RQD %	Parámetros RMR									RMR	TIP
				UCS (1)	RQD (2)	Esp. (3)	condiciones de juntas (4)			agua (5)				
							per	ap	rug		rell	alt		
caliza negra brechosa	Mod	R4	85	4	17	8	6	6	3	4	6	10	64	TIP O II
caliza negra brechosa	Mod	R4	64	4	13	8	4	4	3	4	5	10	55	TIP O IIIA
caliza negra brechosa	Mod	R4	68	4	13	8	6	6	5	4	6	10	62	TIP O II
caliza negra brechosa	Mod	R4	66	4	13	8	6	6	5	4	6	10	62	TIP O II
caliza negra brechosa	Mod	R4	48	4	8	8	6	6	5	4	6	10	57	TIP O IIIA
caliza negra brechosa	Mod	R4	76	4	17	8	6	6	3	4	6	10	64	TIP O II
caliza negra brechosa	Mod	R4	30	4	8	5	4	4	3	4	5	10	47	TIP O IIIB
caliza negra brechosa	Mod	R4	26	4	8	5	4	4	3	4	5	10	47	TIP O IIIB
Caliza brechosa	Mod	R4	36	4	8	5	4	4	3	4	5	10	47	TIP O IIIB
caliza negra brechosa	Mod	R4	62	4	8	5	4	4	3	4	5	10	57	TIP O IIIA
caliza negra brechosa	Lig	R4	67	4	13	5	4	1	3	4	5	10	49	TIP O IIIB

Al realizar el mapeo geomecánico se pudo determinar la ocurrencia de la calidad de roca

en toda la zona sur baja calidad regular de tipo IIIA y IIIB siendo estas de calidad regular con RMR superiores a 40 que cubren más del 70% en la zona sur baja como se expresa en el cuadro.

Tabla 3. Ocurrencia calidad de la masa rocosa

Tipo de roca	Rango de RMR	Calidad según RMR	RMR prom.	Ocurrencia
II	> 60	Buena	63	7 %
IIIA	51 – 60	Regular A	55	33 %
IIIB	41 – 50	Regular B	47	31 %
IVA	31 – 40	Mala A	36	16 %
IVB	21 – 30	Mala B	26	12 %
V	< 21	Muy Mala	20	1 %

De acuerdo a la caracterización de la roca y posteriormente corroborados con los ensayos de laboratorio se determinaron propiedades de resistencia de la roca donde las calizas marmolizadas que son las que predominan son de tipo IIIA y IIIB son rocas de tipo regular que tienen una calidad de RMR muy superiores a 45 y que también tienen resistencias a la compresión simple mayores a 80 MPa y teniendo con la presencia de roca de tipo II llegan con una resistencia de compresión simple hasta 120 MPa lo que nos

indica que estas rocas pertenecen a las rocas con alto grado de rigidez.

Tabla 4. Resistencia de la roca

Litología	Tipo de roca	GSI	σ_c (MPa)	Emr (MPa)
	II	63	120	21947
Caliza	IIIA	55	80	9406
	IIIB	48	80	6015
Mármol	IIIA	55	100	16461
	IIIB	48	80	8421

Sostenimiento.

Según los datos obtenidos de la caracterización geomecánica y usando métodos empíricos se recomienda los siguientes tipos de sostenimiento.

Tabla 5. Sostenimiento recomendado

Roca	Pernos Long.	Shotcrete Esp.	Cimbras	Revisión
II	2 m	2 m (T), 1.5m (L)	5 cm	- 25 cm
IIIA	2 m	2 m (T), 1.5m (L)	7 cm	- 25 cm
IIIB	2 m	2 m (T), 1.5m (L)	10cm	- 25 cm
IVA	2 m	1.5 m (T), 1.5 m (L)	15cm	- 20 cm

Para el tipo de roca en la zona sur baja de la unidad se determinó el tipo de soporte siendo estas los pernos sistemáticos con longitudes mayores a 2m. Asimismo reforzado con shotcrete desde 5cm. hasta 10cm. dependiendo del tipo de roca siendo de tipo II, IIIA, IIIB.

La determinación de sostenimiento mediante ábacos te dan el tipo de sostenimiento pero no la calidad y las características de los pernos. El sostenimiento adecuado para este tipo de ambiente debería de tener las siguientes características: alta resistencia, acoplamiento a la roca y facilidad de instalación por lo que se hizo una comparación de los pernos que ofrece el mercado y las que se usan normalmente en la Unidad Minera El Porvenir teniendo en cuenta la calidad de la roca y el comportamiento dinámico de la zona analizada que es la zona sur baja.

Tipos de pernos y su relación con el comportamiento dinámico

Pernos mecánicos.

Características:

Diámetro de la varilla: 17.8 mm.

Resistencia a la tensión ultima del vástago del perno: 12.7 t. Aprox.

Diámetro de taladro: 38 mm. Torque óptimo: De 75 a 100 Li

Tabla 6. Prueba de arranque en el nivel -830

Nº	R.M.R.	Longitud Perno (pie)	Φ Talad. Perf. (mm)	Tonelaje alcanzado (t)
1	50-60	7'	38	11
2	50-60	7'	38	11
3	50-60	7'	38	11
4	50-60	7'	38	12

en las pruebas de arranque de los pernos mecánicos alcanzaron tonelajes mayores a 11

toneladas pero este tipo de soporte se usa para labores temporales debido al material y el contacto directo con presencia de agua y ocasionando el deterioro del material y se ha podido corroborar que ante estallidos de roca ocurridos en la unidad el perno mecánico tiene dos mecanismos de falla, el primero es la rotura en el cuerpo del elemento y el segundo es el arranque total del elemento debido a la falla del anclaje en el momento del evento.

Varillas de fricción o Split set.

Características:

Tamaño de broca recomendada: 35 -36 mm

Diámetro exterior nominal del tubo: 39 mm

Longitud: 7 pies

Capacidad de carga: 1 t/pie instalado

Tabla 7. Prueba de arranque Split Set

Tipo Roca	Tipo Perno	Lon. (Pie)	Diam per. (mm)	Diam Split broc (mm)	Res. (t)	Resul. (t/Pie)
45-55 S.SET	7'	39.5	36.6	7	1	
45-55 S.SET	7'	39.5	36.6	7.1	1.013	
45-55 S.SET	7'	39.5	36.6	7	1	
50-60 S.SET	7'	39.5	35.6	7.6	1.056	
50-60 S.SET	7'	39.5	38.2	4	0.563	

el problema con el Split set es la perdida de diámetro externo de la broca de

perforación, lo que genera que al perderse adherencia entre las paredes del elemento y la roca, el elemento tenga menor resistencia al arranque, para ello se trata de controlar diariamente este diámetro.

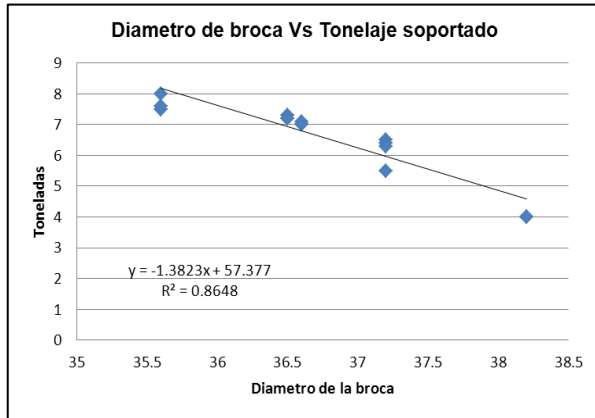


Figura 10. Relación diámetro broca vs. Ton. Soportado

El coeficiente de correlación de Pearson (r) es de 0.92, lo que nos indica una alta correlación entre el diámetro de la broca y el diámetro externo del Sptli set.

Para un ambiente sísmico como en el que se trabaja, los pernos de fricción frente a un ambiente sísmico, tienden a arrancarse con la caída de los bancos, debido a que sus características.

Pernos Helicoidales con resina.

Tamaño de broca recomendada: 32 y 36 mm

Diámetro de la Barra de Acero: 19 y 22 mm

Resistencia a la tensión: Entre 15 – 25 t.

Longitud del Perno: 7 Pies

Platina: Placa plana.

Tabla 8. Prueba de arranque Perno Helicoidal

N ^o	R.M.R.	Long. (pie)	Φ (mm)	Φ Tal. (mm)	Ton. (t)
1	50-60	8´	19	32	> 23.0
2	50-60	8´	19	32	> 22.0
3	50-60	8´	19	32	> 20.0
4	50-60	8´	19	32	> 23.0
5	50-60	8´	19	32	> 22.0

Conclusión que los pernos no llegaron a jalarsse soportando el tonelaje mayor de 22.2t.

Los pernos helicoidales son elementos que pueden soportar un evento sísmico, en lo que se tiene registrado cuando se dio un evento sísmico en perno helicoidal ha soportado teniendo solo una deformación en la placa.

Pernos dinámicos Durabar.

Tamaño de la broca: 38 mm

Diámetro de Barra de Acero: 22y16 mm

Resistencia: Entre 32 – 42 t.

Longitud del Perno: 7 Pies

No se usa en la Unidad Minera El Porvenir

Perno dinámico, de acero capaz de proveer un efectivo soporte en áreas con movimiento sísmico propensos a estallido de rocas donde el principio del perno durabar es una ondula de acero la cual tiene resistencias a posibles deformaciones, la porción ondulada ofrece mayor resistencia y evita el desplazamiento de la barra fuera del taladro

Tabla 9. Cuadro comparativo de los pernos de sostenimiento

	Perno Mecánico	Perno Split Set	Perno Helicoidal	Perno Dinámico Durabar
Diámetro de broca (mm)	38	39	32 y 36	38
Diámetro de varilla (mm)	17.8	35-36	19 y 22	16 y 22
Longitud (pies)	7	7	7	7
resistencia (t)	11	7	20	42 y 32
Acoplamiento a la roca	Su acción de reforzamiento de la roca es inmediata después de su instalación. Mediante rotación, se aplica un torque a la cabeza del perno, el cual acumula tensión en el perno, creando la interacción en la roca	La fricción en el contacto con la superficie del taladro y la superficie externa del tubo ranurado constituye el anclaje, el cual se opondrá al movimiento o separación de la roca circundante al perno, logrando así indirectamente una tensión de carga.	Es importante en este caso que se produzca una buena mezcla de la resina con el catalizador, para que la adherencia de la varilla con la roca sea eficaz	el principio de operación es una ondulada barra de acero el cual la parte ondulada en una parte del perno evita el desplazamiento de la barra
Instalación	se perforan los taladros, se colocan las varillas en los taladros, se fijan los anclajes y luego las placas de base son ajustadas mecánicamente	Requiere una máquina jackleg o un jumbo. Una presión de aire de 60 a 80 psi	Se perforan los taladros. Cuando se usa inyección de cemento, después de la perforación se introduce la varilla dentro del taladro	una vez realizada la perforación se inyecta la lechada de cemento y posteriormente se instala el perno en forma manual
material	acero	acero negro y galvanizado	acero caliente	acero
Se usa en la mina compañía	SI	SI	SI	NO
Comportamiento frente a estallido	Frente a estallido de rocas el cuerpo del elemento se rompe y algunos casos se arrancan en su totalidad.	frente a estallido de rocas se arranca debido a su relación Diámetro vs Tonelaje soportado	aguanta estallidos de menor magnitud, con estallidos de gran violencia tienden a arrancarse	actúa inicialmente como un perno estático y cuando se presenta un evento sísmico se comporta como un perno dinámico a posibles deformaciones en el terreno



Figura 11. Tipo de perno vs resistencia de soporte

Los pernos que soportan mayor tonelaje son los pernos dinámicos Durabar de 16 mm y 22 mm llegando a soportar hasta 42 t y 32 t. Y también frente al evento sísmico propensos a estallido de rocas tiene un comportamiento dinámico a posibles deformaciones del terreno

DISCUSIONES.

(Paz-Bustios, 2012) concluye que el sostenimiento con pernos helicoidales ha resultado en la unidad el elemento más adecuado para un ambiente altamente sísmico por su capacidad de carga así como las características de trabajo que posee tales como la deformación previa de las planchas así como la rapidez con que brinda el soporte adecuado cuando se usa con solo resinas.

Sin embargo en esta investigación deducimos que los pernos helicoidales pueden soportar pequeños eventos sísmicos de menor magnitud pero frente un movimiento sísmico fuerte por que tienden a arrancarse. En la Unidad Minera El Porvenir no cuenta con

pernos Durabar, pero estos pernos dinámicos poseen características de alta resistencia, buen acoplamiento a la roca y su facilidad de instalación teniendo un comportamiento inicial estático luego al presentarse el evento sísmico tiene comportamiento dinámico lo cual indica que tiene resistencia a posibles deformaciones del terreno por lo tanto los pernos dinámicos Durabar son los que mejor trabajan en zonas críticas propensas al estallido de rocas.

CONCLUSIONES.

Las zonas más críticas propensas al estallido de rocas en la Unidad Minera El Porvenir se encuentran en las zonas más bajas sobre todo en la zona sur donde se presentaron eventos sísmicos de mayor magnitud teniendo en esta zona rocas calizas negras brechosas y calizas marmolizadas con una calidad de roca RMR 55 a más y con resistencia a la compresión simple mayores 80MPa lo cual indica que son rocas rígidas determinando que el tipo de sostenimiento que mejor se adecua en este tipo de terreno son los pernos dinámico durabar por las características que posee como la alta resistencia, buen acoplamiento a la roca y facilidad de instalación teniendo así un comportamiento inicial estático y cuando se presentan eventos sísmicos tienden a soportar posibles deformaciones del terreno.

AGRADECIMIENTOS.

Al departamento de Geomecánica de la Unidad Minera El Porvenir del grupo Milpo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- Adco-Marron, A. A. (2018). *Control de inestabilidad de la masa rocosa con la aplicacion de refuerzos por metodo numerico en galeria de avance nivel 2640 contrata New Horus Mina Atahuallpa-Compañía Minera Poderosa S.A.* Universidad Nacional del Altiplano.
- Callupe-Huaranga, P. (2016). *Sismicidad en minería: análisis , interpretación y aplicación de controles - caso Mina Yauliyacu.* Universidad Nacional de Ingeniería.
- Ceras-Cuadros, F. A. (2015). *Influencia del sostenimiento en el estres de roca en el tunel DR 09 en la empresa de Generacion Electrica Cheves S.A.* Universidad Nacional del Centro del Peru.
- Cubas-Castro, J. J. (2009). *Avances para el control de estallido de rocas mediante el uso de monitoreo microsismico - Mina Uchucchacua.* Universidad Nacional de Ingeniería.
- Mamani-Escarcena, H. M. (2014). *Implementacion del indice de resistencia geologica modificado en el sostenimiento activo y pasivo para el contro de accidentes por caida de rocas en mina Uchucchacua* (Universidad nacional San Agustin de Arequipa).
- Marquez-Olivera, G. catherin. (2018). *Geomecanica aplicada al diseño del sostenimiento para mejorar la estabilidad del nivel 730 - Unidad minera San Cristobal - Volcan 2016.* Universidad Nacional Santiago Atunéz de Mayolo.
- OSINERGMIN. (2018). *Resolucion de gerencia de supervision minera organismo supervisor de la inversion en energia y mineria OSINERGMIN N° 2736-2018.* Lima.
- Velasco-Redroban, E. M. (2016). *Diseño de sostenimiento en base a la caracterización geomecánica del macizo rocoso en el sector vetilla 1 subniveles 1 y 2 de Sociedad Minera Liga de Oro.* (Universidad Central del Ecuador).
- Zuñiga, H., Escalante, C., Eman- Mengong, M., & Franca, G. (2013). *El fenomeno de estallido de rocas: importancia del monitoreo sismico en minas subterranas.* 2013.