



Industrial Data

ISSN: 1560-9146

ISSN: 1810-9993

industrialdata@unmsm.edu.pe

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Perú

Gutiérrez Arroyo, Kenning Georking

Análisis y evaluación entre los métodos de explotación convencional y plataformas aplicados en la cantera de caliza de la empresa UNACEM S. A. A.

Industrial Data, vol. 22, núm. 2, 2019, Julio-

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Perú

DOI: <https://doi.org/10.15381/idata.v22i2.15615>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81662532003>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en [redalyc.org](https://www.redalyc.org)

UNAM
redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc

Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Análisis y evaluación entre los métodos de explotación convencional y plataformas aplicados en la cantera de caliza de la empresa UNACEM S. A. A.

KENNING GEORRING GUTIÉRREZ ARROYO ¹

RECIBIDO: 21/12/2018 ACEPTADO: 27/06/2019

RESUMEN

La importancia del presente trabajo de investigación es proporcionar un análisis y una evaluación estadística y geoestadística de la cantera de caliza desarrollado en base al *software* Studio RM Datamine. Los precios unitarios de los métodos de explotación convencional y plataformas nos llevarán a seleccionar el método que optimice la extracción de la caliza, la clasificación geomecánica de Bieniawski (1989), RMR valoración del macizo rocoso, y el factor de seguridad de los taludes, el cual previene el riesgo de caída de rocas. El objetivo de la investigación se sustenta en la caracterización del macizo rocoso, determinación de los parámetros de diseño y cuantificación de los costos de los explosivos de ambos métodos de explotación, que permitirá una operación segura y sostenible en el tiempo.

Palabras-claves: Análisis; evaluación; métodos de explotación convencional; plataformas; cantera de caliza.

INTRODUCCIÓN

La empresa UNACEM S. A. A. viene realizando la explotación de la caliza a tajo abierto a través del método convencional, que consiste en explotar los bancos de 20 m de ancho, 50 m de largo y 10 m de altura con comunicación entre niveles por medio de rampas con una gradiente de 12%, diseño final (ángulo de 50°), y con un ángulo de talud de operación de 70°. Esa explotación se realiza en la parte superior del tajo, y se realizan los trabajos de perforación, voladura y tractoreo en el mismo banco para efectuar el carguío y proceder con el transporte hasta las trituradoras. Sin embargo, esta situación genera algunos problemas: por razones geológicas y la orientación de las discontinuidades presentes en el talud, la estructura de las rocas es inestable; además, se considera el costo que demanda la voladura de precorte para el control de los taludes, para el perfilado de la cara del banco con la excavadora, el incumplimiento de la calidad y el volumen por tener solo un frente de carguío.

En primer lugar, Arellano (2008), en su tesis: *Geología y controles estructurales del yacimiento Coricancha, como criterio de explotación para ubicar cuerpos mineralizados en Skarn dentro de las calizas Jumasha y Santa en el anticlinal de San Mateo Compañía Minera San Juan (Perú)*, concluye en que el buzamiento del afloramiento de las calizas en la quebrada Viso nos suministra una posición espacial del anticlinal de San Mateo, el cual nos permite interpretar la posición de las formaciones subyacentes. Asimismo, Arnao (1999), en su tesis: *Estudio geológico de la cantera de caliza Tembladera C. P. S. A. A.*, recomienda las zonas con estratos de fuerte buzamiento, por lo que resulta conveniente explotar desde el nivel superior y no contar con varios niveles de trabajo a la vez; así, se minimizan los riesgos de accidentes por posibles deslizamientos de estratos.

En segundo lugar, Barreto (2008), en su investigación: *Criterios de selección y reemplazamiento de equipo para la construcción de accesos y plataformas en la zona de San Antonio, provincia de Yauli-Junín*, concluye en que el factor de acoplamiento de los equipos de acarreo y carguío determinado por el ciclo

¹ Ingeniero de minas por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Supervisor de la División de Materias Primas de UNACEM S. A. A. (Lima, Perú).
 E-mail: Kenning.gutierrez@unacem.com.pe

en la construcción de accesos a plataformas nos permite programar el funcionamiento eficiente de los equipos; sin embargo, no toma en cuenta el incremento de la producción de la planta para poder determinar el déficit de volquetes o superávit de estos mismos. De acuerdo con Condo (2017), en su investigación: *Diseño de minado por el método de plataformas secuenciales en el PIT II cantera negro africano proyecto de rocas y minerales industriales (R. M. I.)-Calquipa S. A. C.*, refiere que la operación minera está diseñada para minar una estructura de tipo anticlinal, teniendo una profundidad máxima del tajo en el nivel 4710, con altura de banco de 10 m y bermas finales de 3,4 m, formando así taludes finales de 70° que dan la máxima recuperación.

Cuenca y Herrera (2015), en su tesis: *Diseño de explotación de las calizas existentes en el yacimiento Isimanchi*, señalan que, para este yacimiento de calizas, el sistema de explotación debe ser a cielo abierto, ya que se trata de un depósito calcáreo superficial del grupo canteras, que por su morfología corresponde al de tipo «ladera», el cual se caracteriza por tener un gran número de bancos donde el frente de excavación será en dirección descendente y abandono del talud final en bancos, esto es, desde los bancos superiores hasta los de menor cota.

Asimismo, Ferrer (2015), en su investigación: *Planeamiento de minado de largo plazo para proyecto minero no metálico*, sostiene que en los análisis de estabilidad en los bancos de explotación se consideró un talud de 75°, habiéndose encontrado que las diferentes familias de fracturas presentes no comprometen la estabilidad del talud. No obstante, para Gómez (1979), en su tesis: *Proyecto integral de desarrollo en la zona de calizas de la mina Huachocolpa*, se encontraron dificultades de cavernas en una perforación; las cuales, cuando son mayores de diez pies en el sentido del hueco, no permiten la salida de residuos, los cuales tratan de llenar la cavidad y, en algún momento, pueden caer en bloque encima de la columna de tubos, consiguiendo la inmovilización de la máquina y dando lugar a serios problemas. En estos casos, es preferible tratar de cementar la caverna antes de continuar, cavernas menores pueden pasarse con bastante cuidado; sin embargo, en el trabajo de investigación la explotación de calizas es a tajo abierto con profundidades mayores a diez metros, y pasa algo parecido cuando aparecen cavernas al hacer las perforaciones verticales de los taladros de producción. Hay pérdida de material de explosivos (por ejemplo, el anfo), no hay buena estabilidad física

de los taludes y el material roca caliza no fragmenta adecuadamente.

Por otro lado, Gutiérrez (2009), en su tesis: *Implementación del sistema de explotación convencional en la cantera caliza-Cemento Andino S. A.*, concluye en la necesidad de implementar el sistema convencional a partir del nivel 4040 con un costo de 7,28 \$/ por Tm. Asimismo, recomienda hacer pruebas de voladura controlada para permitir mayor estabilidad a la berma de seguridad. En otro sentido, para López (2016), en su tesis: *Estudio geotécnico y diseño del talud final de una mina a cielo abierto aplicando modelos numéricos*, concluye en que el «análisis cinemático realizado con el software Dips, en el presente estudio muestra que el diseño de un talud de banco de 60° es estable, considerando los sistemas constituidos por las familias de discontinuidades presentes en el tajo por cada dominio estructural» (p. 144).

Un aporte más proviene de Miranda (2009), en su investigación titulada: *Estabilidad de taludes*, donde concluye que la estabilidad de un talud depende del tipo de voladura que se haya efectuado, por lo que es importante la contribución de las voladuras de precorte para mantener la estabilidad del talud final en una explotación minera. Esto garantiza que la roca del talud no sufra deterioro con el paso del tiempo por los daños que pueda causar la voladura. Asimismo, Morales (2000), en su tesis: *Análisis y diseño de taludes mediante métodos computacionales*, concluye en que «el algoritmo de monitoreo de taludes permite determinar el punto de colapso del talud en zonas inestables de la mina, aplicables a cualquier explotación superficial. [Así,] el algoritmo de diseño del talud determina el ángulo óptimo de rendimiento con el factor de seguridad» (p. 120).

Por otra parte, Pacheco (1999), en su tesis: *Aplicación de la mecánica de rocas a las operaciones mineras unitarias de perforación y voladura en minería a tajo abierto*, recomienda que la evaluación de las características y los valores físico-mecánicos de las rocas deben ser efectuados *in situ* en la mina en estudio y dentro del macizo rocoso del banco a perforarse y dispararse. Si la determinación mencionada anteriormente no puede ser efectuada *in situ*, dicha determinación puede ser llevada a cabo en el laboratorio a través de las muestras de rocas obtenidas de la mina en estudio, pero los valores determinados de esta forma son menos confiables que los que se determina *in situ*.

Además, Piérola (2017), en su investigación: *Optimización del plan de minado de cantera de caliza La Unión distrito de Baños del Inca-Cajamarca*

2015, concluye que la determinación del macizo rocoso ha logrado optimizar el plan de minado en la cantera caliza, pues se ha obtenido un RMR de 57 roca de calidad regular con una densidad en banco 2,51 t/m³. De esta forma, Quevedo (1990), en su tesis: *Evaluación geológica de la cantera de calizas ubicado en el área de Tembladera, provincia de Contumaza, departamento de Cajamarca*, recomienda la creación de un departamento de geología que realice campañas periódicas de exploración y mapeo de superficie conforme avanzan las explotaciones con el fin de verificar la calidad del material extraído. No obstante, no toma en cuenta los resultados de las calidades de las calizas a medida que va avanzando la explotación del tajo.

Por último, Ríos (1978), en su tesis: *Estudio de la alteración de la calizas Pucará en el área de Morococha (provincia de Yauli-departamento de Junín)*, sugiere llegar a un entendimiento cabal entre los diferentes tipos de alteración que afectan las diversas secuencias calcáreas del grupo Pucará dentro del distrito minero de Morococha. También propone comparar la naturaleza química, petrográfica y sedimentológica de los horizontes calcáreos equivalentes del área de Morococha. Sin embargo, no toma en cuenta las formaciones para tener un mejor entendimiento con respecto a la alteración de las calizas.

OBJETIVOS

Objetivo general

Analizar y evaluar el método de explotación convencional que influye en las plataformas aplicado en la cantera de caliza de la empresa UNACEM S. A. A.

Objetivos específicos

- Caracterizar el macizo rocoso en el método de explotación convencional relacionado significativamente en las plataformas.
- Determinar los parámetros de diseño en el método de explotación convencional, influyendo significativamente en las plataformas.
- Cuantificar los costos de los explosivos en la explotación convencional, influyendo significativamente en las plataformas.

JUSTIFICACIÓN

El estudio se justifica en cuanto a la seguridad, lo ambiental, social, técnico y económico:

Seguridad, porque el determinar taludes estables reduce la posibilidad de generar eventos no deseados (deslizamientos) que pueden ocasionar accidentes a las personas y equipos.

Ambiental, con la explotación a tajo abierto por plataformas, en diciembre del 2017, se logró cero gases nitrosos en la voladura, debido al carguío de explosivos mecanizado mediante camión fábrica, utilizando emulsión matriz llamada hidrogel. Asimismo, se redujo la polución por riesgo de caída de los taludes. Contar con plataformas en la cantera permitirá reducir la vibración producto de las voladuras, ya que se podrán usar perforadoras trackdrill DM45 6 3/4", las cuales permitirán reducir la cantidad de taladros.

Social, porque las explotaciones mineras se encuentran a 500 m de distancia del centro poblado de Condorcocha.

Técnico, porque proporciona un nuevo método de explotación, permitirá una mejor extracción de mineral, teniendo varios frentes de carguío para realizar diseño de mezcla, cumpliendo los parámetros de calidad de planta.

Económico, porque el diseñar en la cantera la explotación por plataformas permitirá extraer el mineral con un menor costo.

Es conveniente este estudio para las cementeras que realizan la explotación a tajo abierto y que efectúen el acarreo de la materia prima con volquetes mediante diseño de mezclas (*blending*).

METODOLOGÍA

Es una investigación comparativa. El trabajo se inició con la revisión bibliográfica de la caracterización geológica, estudio de estabilidad de taludes, evaluación de sondajes diamantinos Studio RM-Datamine; se tomaron tiempos, circuitos y rendimientos de la perforación, voladura, tractoreo, carguío y transporte, lo que nos generó data de precios unitarios. Se realizaron simulaciones de voladuras, granulometría y monitoreo de vibración con sismógrafo.

RESULTADOS

Características del macizo rocoso

Mapeo geomecánico

Se realizó el mapeo geomecánico de campo usando el método directo por celdas de detalle, que consiste en mediciones sistemáticas de las discontinuidades

presentes en una estación, la cual es la representación de un tramo de extensión variable de la roca expuesta en los taludes, cuyas características se observan en las estructuras (fallas, juntas, estratificación). Con respecto a su distribución, continuidad y alteración, es homogénea en el tramo evaluado.

Clasificación del macizo rocoso

Para su clasificación del macizo rocoso, se utilizó la información de los criterios de clasificación geomecánica de Bieniawski y el criterio de clasificación propuesto por Romana, de acuerdo a la tabla 1.

Zonificación geomecánica del macizo rocoso

Los diferentes métodos de cálculo de la mecánica de rocas se realizarán a zonas del macizo rocoso que están divididas en áreas de características estructurales y mecánicas similares, debido a que el análisis de los resultados y los criterios de diseño

serán válidos solo dentro del macizo rocoso que presentan características físicas y mecánicas semejantes para determinar el factor de seguridad estático y pseudoestático según la tabla 2.

Resistencia de la roca intacta

Estos parámetros permiten especificar cada litología para ser modelado con el *software* RocData de la galería Rocscience, para lo cual se aplicó el criterio de Hoek-Brown, criterio no lineal que representa muy bien el macizo rocoso, puramente empírico, que permite valorar de manera sencilla la rotura de un medio rocoso mediante la introducción de las principales características geológicas y geomecánicas.

Análisis de estabilidad por dovelas

Para evaluar y poder predecir el posible comportamiento de la masa rocosa en los taludes, se ha

Tabla 1. Cantera Cerro Palo, clasificación RMR y SMR.

Estación	RMR	SMR	Clase SMR	Descripción SMR	Estación	RMR	SMR	Clase SMR	Descripción SMR
E-1	48	49	IIIb	Normal	E-15	47	48	IIIb	Normal
E-2	42	49	IIIb	Normal	E-16	55	42	IIIb	Normal
E-3	42	44	IIIb	Normal	E-17	55	54	IIIa	Normal
E-4	40	39	IVa	Mala	E-18	47	55	IIIa	Normal
E-5	43	47	IIIb	Normal	E-19	55	43	IIIb	Normal
E-6	51	39	IVa	Mala	E-20	50	38	IVa	Mala
E-7	46	46	IIIb	Normal	E-21	50	54	IIIa	Normal
E-8	50	38	IVa	Mala	E-22	50	42	IIIb	Normal
E-9	50	57	IIIa	Normal	E-23	47	43	IIIb	Normal
E-10	47	39	IVa	Mala	E-24	47	56	IIIa	Normal
E-11	50	51	IIIa	Normal	E-25	55	54	IIIa	Normal
E-12	47	56	IIIa	Normal	E-26	52	45	IIIb	Normal
E-13	47	49	IIIb	Normal	E-27	55	55	IIIa	Normal
E-14	47	48	IIIb	Normal	E-28	-	-	-	Sin estructuras

Fuente: Bisa Ingenieros.

Tabla 2. Cantera Cerro Palo, análisis cinemático.

Estación	FS (estático)	FS (pseudo)	Tipo	Estación	FS (estático)	FS (pseudo)	Tipo
3	1,62	1,97	cuña	11	1,90	6,78	cuña
4	1,92	1,52	cuña	14	2,56	2,05	cuña
5	2,80	2,18	cuña	15	4,44	3,74	cuña
6	2,00	1,61	cuña	19	1,29	1,10	cuña
7	1,97	1,45	cuña	20	1,62	1,26	planar
8	1,10	0,94	cuña	22	1,66	1,36	cuña
10	3,13	2,63	cuña	24	1,2	5,95	cuña

Fuente: Bisa Ingenieros.

efectuado el análisis por dovelas. Los datos de entrada para el *software* fueron la configuración geométrica actual de los taludes y los parámetros de comportamiento mecánico de la masa rocosa.

Sistema de explotación convencional

Consiste en explotar los bancos que se encuentran en la parte superior, en el nivel 4190, efectuando la perforación, voladura, tractoreo y el carguío en el mismo banco para luego transportar hasta las chancadoras primaria y secundaria Titán 2 y 4.

Los parámetros de diseño del tajo se evidencian en la tabla 3 y figura 1.

Sistema de explotación por plataformas

Se explota desde el nivel 4278, cumpliendo los parámetros de diseño del tajo, según la tabla 4 y la

figura 2, se efectúa la perforación, voladura, tractoreo, carguío en el mismo banco y proceder el transporte hasta la chancadora primaria. Para el sistema por plataformas, se ha programado continuar con la explotación del nivel 4278 hasta el 4240 (zonas D-E-F-G-H-I-J); los recursos estimados totales de calizas alcanzan los 338 279 TMS.

Costos de explosivos y accesorios de voladura

Sistema de explotación convencional

Se viene realizando voladuras primarias con los métodos de explotación convencional de la cantera Cerro Palo (caliza) durante el año 2018.

Enero del 2018

El consumo de explosivos y accesorios en la voladura primaria del banco 4160 (sistema de explotación

Tabla 3. *Parámetros de operación sistema de explotación convencional.*

PARAMETROS	VALORES
Talud de banco	70°
Talud final	50°
Ancho de la rampa	10,20 m
Gradiente máxima de la rampa	12%
Berma de seguridad	5 m
Ancho de banco	20-30 m
Altura de banco	10 m
Nivel máximo de explotación	4220 m s. n. m.
Nivel mínimo de explotación	4120 m s. n. m.

Fuente: UNACEM.

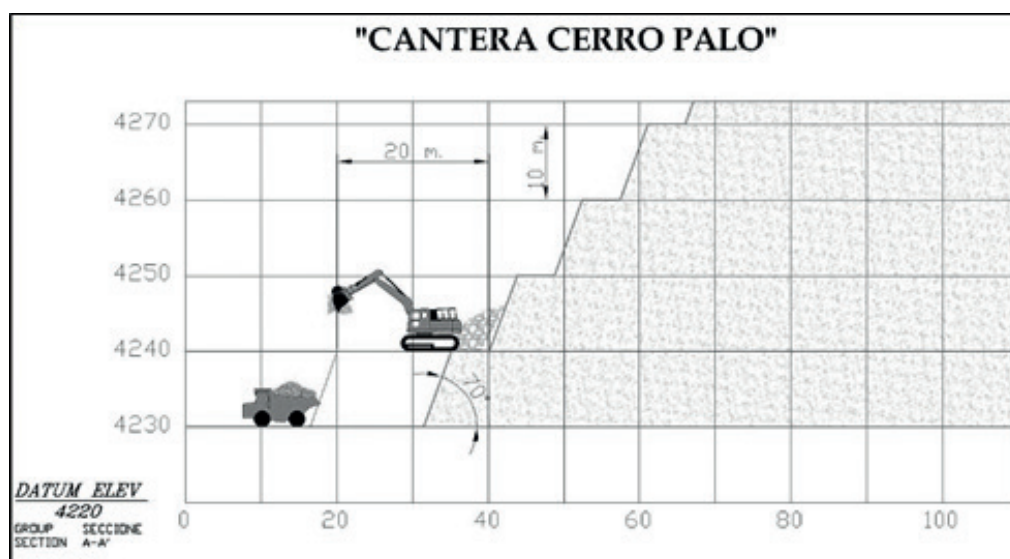


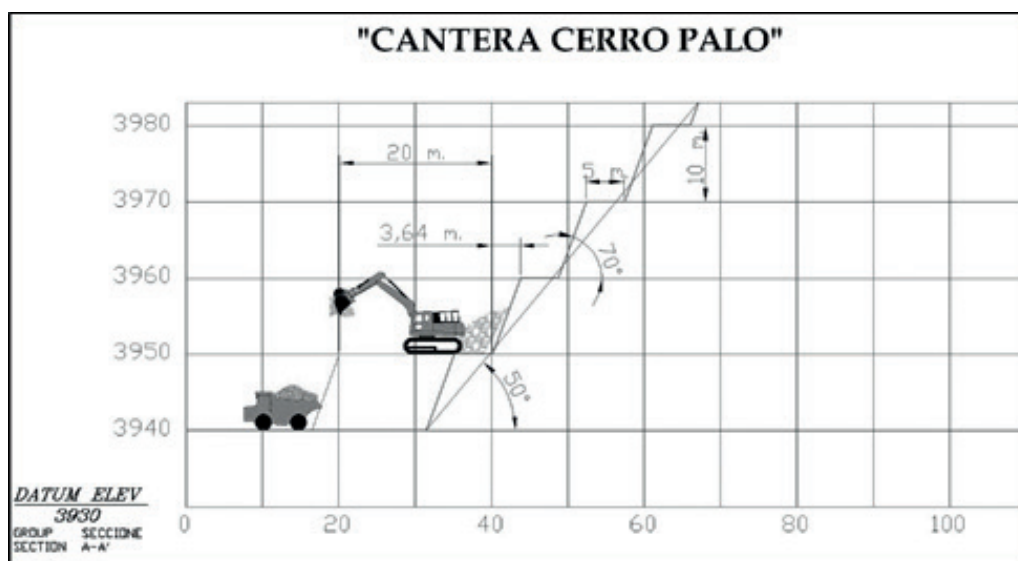
Figura 1. Parámetros de operación sistema de explotación convencional.

Fuente: UNACEM.

Tabla 4. *Parámetros de operación sistema de explotación por plataformas.*

PARÁMETROS	VALORES
Talud de banco	70°
Talud final	No aplica
Ancho de la rampa	10,20 m
Gradiente máxima de la rampa	12%
Berma de seguridad	5 m
Ancho de banco	20-30 m
Altura de banco	10 m
Nivel máximo de explotación	4278 m s. n. m.
Nivel mínimo de explotación	4220 m s. n. m.

Fuente: UNACEM.

**Figura 2.** *Parámetros de operación sistema de explotación por plataformas.*

Fuente: UNACEM.

convencional) dio como resultado un factor de potencia 0,15 kg/Tm, según la tabla 5.

El costo de explosivos y accesorios de la voladura primaria efectuada durante el mes de enero fue de S/. 17 141,77 soles, que calculado es un costo de 0,34 soles/Tm.

Febrero del 2018

El consumo de explosivos y accesorios en la voladura primaria del banco 4160 (sistema de explotación convencional) dio como resultado un factor de potencia 0,13 kg/Tm, según la tabla 6.

El costo de explosivos y accesorios de la voladura primaria efectuada durante el mes de febrero fue de S/. 24 560,72 soles, que calculado es un costo de 0,34 soles/Tm.

Marzo del 2018

El consumo de explosivos y accesorios en la voladura primaria de los bancos 4170, 4150 y 4085 (sistema de explotación convencional) dio como resultado un factor de potencia 0,16 kg/Tm, según la tabla 7.

El costo de explosivos y accesorios de la voladura primaria efectuada durante el mes de marzo fue de S/. 46 463,46 soles, que calculado es un costo de 0,37 soles/Tm.

Sistema de explotación por plataformas

Se viene realizando voladuras primarias en los métodos de explotación por plataformas de la cantera Cerro Palo (caliza) en los años 2017 y 2018.

Tabla 5. Costos de explosivos enero del 2018, sistema de explotación convencional.

Nv	Banco	Método Explotación	Zona	Esp. (m)	Bur. (m)	# Taladros	Producción (Ton)	Producción (BCM)	Costo explosivos TOTAL (S/.)	S/. Tm	S/. BCM
4170	4160	Convencional	C-D	5	4,33	107	50 141,46	22 791,57	17 141,77	0,34	0,75

Fuente: UNACEM.

Tabla 6. Costos de explosivos febrero del 2018, sistema de explotación convencional.

Nv	Banco	Método Explotación	Zona	Esp. (m)	Bur. (m)	# Taladros	Producción (Ton)	Producción (BCM)	Costo Explosivos TOTAL (S/.)	S/. Tm	S/. BCM
4170	4160	Convencional	B-C	5	4,33	145	69 063,50	31 392,50	23 475,21	0,34	0,75

Fuente: UNACEM.

Tabla 7. Costos de explosivos marzo del 2018, sistema de explotación convencional.

Nv	Banco	Método Explotación	Zona	Esp. (m)	Bur. (m)	# Taladros	Producción (Ton)	Producción (BCM)	Costo Explosivos TOTAL (S/.)	S/. Tm	S/. BCM
4172	4170	Convencional	A1	3	3	40	1952,97	887,71	916,97	0,47	1,03
4160	4150	Convencional	J-K	5	4,33	19	10 928,13	4967,33	7 070,40	0,65	1,42
4090	4085	Convencional	K	5	4,33	47	9237,92	4199,06	3 222,73	0,35	0,77
4170	4160	Convencional	A0-A	5	4,33	117	54 986,54	24 993,88	18 665,19	0,34	0,75
4160	4150	Convencional	H-I	5	4,33	109	48 079,58	21 854,36	16 588,17	0,35	0,76

Fuente: UNACEM.

Marzo del 2017

El consumo de explosivos y accesorios en la voladura primaria del banco 4240 (sistema de explotación por plataformas) dio como resultado un factor de potencia 0,14 kg/Tm, según la tabla 8.

El costo de explosivos y accesorios de la voladura primaria efectuada durante el mes de marzo fue de S/. 35 214,69 soles, que calculado es un costo de 0,32 soles/Tm.

Junio del 2017

El consumo de explosivos y accesorios en la voladura primaria del banco 4240 (sistema de explotación por plataformas) dio como resultado un factor de potencia 0,15 kg/Tm, según la tabla 9.

El costo de explosivos y accesorios de la voladura primaria efectuada durante el mes de junio fue de S/. 29 998,07 soles, que calculado es un costo de 0,35 soles/Tm.

Noviembre del 2017

El consumo de explosivos y accesorios en la voladura primaria del banco 4240 (sistema de explotación por plataformas) dio como resultado un factor de potencia 0,12 kg/Tm, según la tabla 10.

El costo de explosivos y accesorios de la voladura primaria efectuada durante el mes de noviembre fue de S/. 10 838,87 soles, que calculado es un costo de 0,31 soles/Tm.

Diciembre del 2017

El consumo de explosivos y accesorios en la voladura primaria del banco 4240 (sistema de explotación por plataformas) dio como resultado un factor de potencia 0,16 kg/Tm, según la tabla 11.

El costo de explosivos y accesorios de la voladura primaria efectuada durante el mes de diciembre fue de S/. 37 342,90 soles, que calculado es un costo de 0,33 soles/Tm.

Nota: en diciembre del 2017 se realizaron pruebas con emulsión matriz.

Febrero del 2018

El consumo de explosivos y accesorios en la voladura primaria del banco 4240 (sistema de explotación por plataformas) dio como resultado un factor de potencia 0,15 kg/Tm, según la tabla 12.

El costo de explosivos y accesorios de la voladura primaria efectuada durante el mes de febrero fue de

Tabla 8. Costos de explosivos marzo del 2017, sistema de explotación por plataformas.

Nv	Banco	Método Explotación	Zona	Esp. (m)	Bur. (m)	# Taladros	Producción (Ton)	Producción (BCM)	Costo Explosivos TOTAL (S/.)	S/. Tm	S/. BCM
4251	4240	Plataforma	I	5,5	4,8	51	31 089,35	14 131,52	9 812,38	0,32	0,69
4251	4240	Plataforma	G-H	5,5	4,8	70	40 667,48	18 485,22	13 362,74	0,33	0,72
4251	4240	Plataforma	G	5,5	4,8	61	37 542,82	17 064,92	12 039,57	0,32	0,71

Fuente: UNACEM.

Tabla 9. Costos de explosivos junio del 2017, sistema de explotación por plataformas.

Nv	Banco	Método Explotación	Zona	Esp. (m)	Bur. (m)	# Taladros	Producción (Ton)	Producción (BCM)	Costo Explosivos TOTAL (S/.)	S/. Tm	S/. BCM
4251	4240	Plataforma	I-J	5	4,34	77	34 812,80	15 824,00	12 229,02	0,35	0,77
4251	4240	Plataforma	F	5	4,34	97	51 434,64	23 379,38	17 769,05	0,35	0,76

Fuente: UNACEM.

Tabla 10. Costos de explosivos noviembre del 2017, sistema de explotación por plataformas.

Nv	Banco	Método Explotación	Zona	Esp. (m)	Bur. (m)	# Taladros	Producción (Ton)	Producción (BCM)	Costo explosivos TOTAL (S/.)	S/. Tm	S/. BCM
4251	4240	Plataforma	H-I-J	5	4,33	112	34 834,53	15 833,88	10 838,87	0,31	0,68

Fuente: UNACEM.

Tabla 11. Costos de explosivos diciembre del 2017, sistema de explotación por plataformas.

Nv	Banco	Método Explotación	Zona	Esp. (m)	Bur. (m)	# Taladros	Producción (Ton)	Producción (BCM)	Costo Explosivos TOTAL (S/.)	S/. Tm	S/. BCM
4251	4240	Plataforma	H1	5	4,33	119	64 547,89	29 339,95	18 006,46	0,28	0,61
4251	4240	Plataforma	E2	5	4,33	105	47 782,50	21 719,32	19 336,44	0,40	0,89

Fuente: UNACEM.

Tabla 12. Costos de explosivos febrero del 2018, sistema de explotación por plataformas.

Nv	Banco	Método Explotación	Zona	Esp. (m)	Bur. (m)	# Taladros	Producción (Ton)	Producción (BCM)	Costo explosivos TOTAL (S/.)	S/. Tm	S/. BCM
4251	4240	Plataforma	G2	5	4,33	101	54 855,46	24 934,30	17 857,02	0,33	0,72

Fuente: UNACEM.

S/. 17 857,02 soles, que calculado es un costo de 0,33 soles/Tm.

Costos de minado

Para efectuar las diferentes actividades mineras en la cantera de caliza, se ha definido los precios unitarios, como se evidencia en la tabla 13.

CONCLUSIONES

1. La caracterización geomecánica del macizo rocoso para el sistema de explotación convencional y plataformas se hizo en base a la realización

de treinta estaciones geomecánicas de mapeo por celdas, que consiste en tomar la información geomecánica en un punto conforme a los parámetros solicitados por la clasificación geomecánica RMR de Bieniawski (1989), donde el promedio de compósito de las estaciones menciona los siguientes resultados:

- Aspectos litológicos, determinando calizas en la cantera.
- Distribución de discontinuidades, se definen tres sistemas principales de discontinuidades estructurales:

Tabla 13. Precio unitario por sistema explotación.

Método de minado	Convencional	Plataformas
Perforación	0,7027 S./TMS	0,7206 S./TMS
Voladura	1,0562 S./TMS	0,7633 S./TMS
Tractoreo	0,9793 S./TMS	0,8072 S./TMS
Carguío	1,4031 S./TMS	0,5624 S./TMS
Transporte	3,6148 S./TMS	4,7760 S./TMS
Total	7,7561 S./TMS	7,6295 S./TMS

Fuente: UNACEM.

- Sistema 1 con dirección de buzamiento promedio de 319° y buzamiento promedio de 52°, expresado en rumbo y buzamiento: N49°E y 52°NW. Este sistema está bien representado en el campo por la estratificación de la caliza.
 - Sistema 2 con dirección de buzamiento promedio de 127° y buzamiento promedio de 54°, expresado en rumbo y buzamiento: N37°E y 63°SE. Este sistema corresponde al control estructural de fallas.
 - Sistema 3 con dirección de buzamiento promedio de 226° y buzamiento promedio de 57°, expresado en rumbo y buzamiento: N44°W y 57°SW corresponde a un sistema aleatorio de fracturamiento.
2. Los parámetros de diseño de minado en el método de explotación convencional y plataformas son los mismos, con la diferencia de que en el método de explotación convencional el nivel de riesgo por caída de rocas es alto debido a que se tiene cinco bancos de diez metros de altura cada uno. Sin embargo, el método de explotación por plataformas solo tendrá un banco con una altura de diez metros durante el minado, a medida que se venga explotando de forma descendente; por lo tanto, el nivel de riesgo por caída de rocas es bajo, permitiendo una operación segura y sostenible en el tiempo. Quedan establecidos los siguientes parámetros:

Tabla 14. Parámetros de operación, sistema de explotación convencional y plataformas.

Parámetros	Convencional	Plataformas
Angulo de talud final	50°	No aplica
Altura de bancos	10 m	10 m
Angulo de banco <i>in situ</i>	70°	70°
Ancho de plataformas en niveles activos	20 m	20 m
Ancho de plataformas en niveles inactivos	5 m	No aplica

Fuente: Bisa Ingenieros.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Arellano, G. (2008). *Geología y controles estructurales del yacimiento Coricancha, como criterio de explotación para ubicar cuerpos mineralizados en Skarn dentro de las calizas Jumasha y Santa en el anticlinal de San Mateo-compañía minera San Juan (Perú)*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- [2] Arnao, L. (1999). *Estudio geológico de la cantera de caliza Tembladera C. P. S. A. A.* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- [3] Barreto, J. (2008). *Criterios de selección y reemplazamiento de equipo para la construcción de accesos y plataformas en la zona de San Antonio, provincia de Yauli-Junín*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima.
- [4] Condo, E. (2017). *Diseño de minado por el método de plataformas secuenciales en el PIT II cantera negro africano proyecto de rocas y minerales industriales (R. M. I.)-Calquipa S. A. C.* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa.
- [5] Cuenca, E. y Herrera, G. (2015). *Diseño de explotación de las calizas existentes en el yacimiento Isimanchi*. (Tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador, Quito.
- [6] Ferrer, F. (2015). *Planeamiento de minado de largo plazo para proyecto minero no metálico*.

- (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- [7] Gómez, A. (1979). *Proyecto integral de desarrollo en la zona de calizas de la mina Huachocolpa*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- [8] Gutierrez, K. (2009). *Implementación del sistema de explotación convencional en la cantera caliza Cemento Andino S. A.* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica, Nasca.
- [9] López, E. (2016). *Estudio geotécnico y diseño del talud final de una mina a cielo abierto aplicando modelos numéricos*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima.
- [10] Miranda, R. (2009). *Estabilidad de taludes*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima.
- [11] Morales, D. (2000). *Análisis y diseño de taludes mediante métodos computacionales*. (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- [12] Pacheco, M. (1999). *Aplicación de la mecánica de rocas a las operaciones mineras unitarias de perforación y voladura en minería a tajo abierto*. (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- [13] Piérولا, D. (2017). *Optimización del plan de minado de cantera de caliza La Unión distrito Baños del Inca-Cajamarca*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno.
- [14] Quevedo, A. (1990). *Evaluación geológica de la cantera de calizas ubicada en el área de Tembladera, provincia de Contumaza, departamento de Cajamarca*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- [15] Ríos, C. (1978). *Estudio de la alteración de la calizas Pucará en el área de Morococha (provincia de Yauli-departamento de Junín)*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima.