



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD Y REDUCCIÓN DE COSTOS APLICANDO CAMBIO DE BROCA E IMPLEMENTANDO UN ACCESORIO DE VOLADURA EN LA CANTERA SANGAL, ENCAÑADA 2019”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor:

Bach. Luis Ricardo Carranza Oblitas

Asesor:

Ing. Víctor Eduardo, Álvarez León

Cajamarca - Perú

2019

DEDICATORIA

A Dios.

A mi Esposa Selene e Hijos, Fiorella, Renato, Valeria, Luciana por su apoyo, tiempo y Comprensión.

A mis padres por su respaldo, aliento, consejos y buenas enseñanzas.

A mis Profesores que me apoyaron e impulsaron para la realización de este proyecto.

A la Empresa por confiar en la contratista para la solución de su problema.

Luis Carranza

AGRADECIMIENTO

Agradecer ante todas las cosas a nuestro Creador por iluminarnos en todo lo que hacemos, por guiarnos a lo largo de nuestra existencia, ser el apoyo de fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

Gracias a mis padres Luis y Lidia por ser los principales promotores de nuestros sueños, por los consejos, sus enseñanzas y creer en Nosotros y por darlos valores que nos han hecho mejores personas para la Sociedad.

Agradecer a nuestros Docentes de la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Privada del Norte por haber compartido sus conocimientos a lo largo de nuestra formación Profesional.

Luis Carranza

Tabla de contenidos

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	8
1.1. Realidad problemática.....	8
1.2. Formulación del problema	11
1.3. Objetivos	11
1.4. Hipótesis.....	12
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	13
2.1. Tipo de investigación	13
2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)	14
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.....	14
2.4. Procedimiento.....	15
CAPÍTULO III. RESULTADOS	19
3.1. Ubicación de la cantera Sangal:	19
3.2. Clasificación Geomecánica del macizo rocoso:.....	20
3.3. Resultados de la comparación de Brocas en la perforación:	22
3.4. Resultados de la implementación de un nuevo accesorio de voladura en producción y costos:.....	29
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	33
REFERENCIAS	36
ANEXOS	38

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de la calidad de la roca	17
Tabla 2: Caracterización geo mecánica	21
Tabla 3: Datos de la broca Atlas Copco	23
Tabla 4: Operatividad de la broca Atlas Copco.....	23
Tabla 5: Datos de la broca Sandvick	24
Tabla 6: Operatividad de la broca Sandvick.....	24
Tabla 7: Datos de la broca Boart Longyear	25
Tabla 8: Operatividad de la broca Boart Longyear	26
Tabla 9: Comparación de rendimiento de las brocas.....	26
Tabla 10: Rendimiento total de las 3 marcas de brocas	27
Tabla 11: Análisis comparativo del costo de las brocas	27
Tabla 12: Parámetros de la malla de perforación	29
Tabla 13: Accesorios de voladura	31
Tabla 14: Producción Cordón detonante Vs Nonel.....	31
Tabla 15: Costo cordón detonante Vs Nonel.....	32

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1: Ubicación de la concesión Sangal.	16
Ilustración 2: Macizo rocoso de la cantera Sangal.	17
Ilustración 3: Coordenadas UTM concesión Sangal..	19
Ilustración 4: Ubicación de la concesión Sanga.	19
Ilustración 5: Mapa Topográfico de la cantera Sangal.	20
Ilustración 6: Comparación de rendimiento de brocas.	26
Ilustración 7: Análisis de costo Vs metros perforados de las brocas.....	28
Ilustración 8: Especificaciones del taladro..	30

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se realizó un análisis comparativo de 3 marcas de broca Atlas Copco, Sandvik y Boart Longyear; para identificar la que mejor rendimiento desarrolla con relación a la durabilidad de cada una, la cantidad de metros perforados y el costo. Obteniendo mejores resultados con la broca Boart Longyear que aumentó en promedio 850 la cantidad de metros perforados, se mejoró el porcentaje de material óptimo en un 50 % y se logró reducir costos debido a que la broca seleccionada tiene un menor precio en el mercado, además de que en la voladura el accesorio que se implementó produce material de buena calidad y no es necesario realizar subprocesos que demandan un costo adicional.

En relación al cálculo total de metros perforados y horas trabajadas de las 3 brocas utilizadas: Atlas Copco (937.2 m – 53.80 h), Sandvik (1056 m – 52.50 h) y Boart Longyear (1894.2 m – 72.70 h) esta es la que mejor avance y durabilidad presenta, así como la comparación de los costos de las 3 marcas de brocas incluyendo el IGV: Atlas Copco \$ 383.5, Sandvik \$ 404.74 y Boart Longyear \$ 355.18; siendo la última la de menor costo.

Se logró mejorar en un 50 % la cantidad de material óptimo al implementar el Nonel como nuevo accesorio de voladura dentro del taladro, además de eliminar el subproceso que se realizaba para disminuir el tamaño de la bolonería que se obtenía al inicio, lo cual generaba costos adicionales a la empresa.

Palabras clave: Perforación, voladura, material óptimo, bolonería, cordón detonante, nonel

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Durante la perforación y voladura, es muy importante realizar estudios previos de la roca para escoger el tipo de broca y accesorios a utilizar durante el proceso, en la cantera Sangal, se observaron problemas con respecto a la duración y rendimiento de las brocas, así mismo se presentaron problemas con la voladura debido a que el porcentaje de material óptimo que se obtenía era del 30% por lo cual no era rentable para la empresa.

Según Mamani (2016), en la construcción de accesos carreteras, minas a tajo abierto, voladura en canteras, construcción de represas y todo tipo de trabajos donde se realice voladura de rocas, es necesario realizar un estudio que abarque variables las cuales puedan ayudarnos a la toma de decisiones, como el explosivo óptimo, y el tiempo de operación de minado. El cual tendrá diferentes etapas, este tendrá que incluir costos y presupuestos para un periodo de tiempo determinado detallando algunos aspectos; para organizar y controlar el programa de producción, también a la elaboración de precios unitarios; en la industria minera y de la construcción.

La variabilidad del lugar donde se perfora afecta directamente a los costos de operación no es lo mismo perforar en una roca competente que una roca incompetente o realizar limpieza de material bien granulado y bolones de roca los cuales hacen que los equipos se esfuerces consuman más combustible y desgasten piezas de maquinarias prematuramente. (Ordoñez, 2011)

Villero (2009), nos indica que las propiedades estructurales del macizo rocoso son las que más afectan la perforación y voladura el rendimiento de estas operaciones se ve afectado en gran proporción por la presencia de numerosas zonas críticas que disminuyen la velocidad de perforación y hacen excesivo el trabajo de cargue de explosivos. Las características geo-mecánicas del macizo rocoso son un conjunto de propiedades que no podemos cambiar en el diseño de la voladura el esquema que se debe amoldar a dichas propiedades de manera que sea optimo, esto se logra calculando parámetros controlables de la voladura.

La vida útil de una broca es muy importante, ya que de ello depende los costos que se van considerar en el proceso de perforación, Wilson (2013), nos indica que el rendimiento de una broca se ve afectado por varias características de la formación rocosa incluyendo su resistencia. Quizás la manera más simple de seleccionar el tricono adecuado sea determinar el tipo de formación que se va a perforar, en cualquier caso, el método final para determinar el tipo de tricono es la experiencia que está dando la actual perforación. En las formaciones muy blandas los pesos se pueden reducir y todavía producir un buen rendimiento, el mejor método de determinar el peso óptimo sobre el tricono es dictado por la práctica de la perforación en cada caso. La velocidad de rotación variará en cada caso entre 50 a 80 r.p.m. el aumento de la velocidad de rotación aumentará la velocidad de penetración, pero al mismo tiempo aumentará el desgaste de los rodamientos y la estructura de corte, este efecto deberá ser observado en el proceso de evaluación de los resultados de variaciones de velocidad.

La Reducción total en costos operativos por la optimización de las operaciones unitarias de minado y por los ahorros en la eliminación de la voladura secundaria y el

incremento en la vida de los aceros. Los principales factores de éxito para concretar la optimización de los estándares de perforación y voladura y en general del ciclo de minado, son el seguimiento y control operativo y la capacitación y creación de conciencia. (Jáuregui, 2009)

Según Carhuavilca (2010), las maquinarias debido a su uso tienen un desgaste natural y van perdiendo su valor a través del tiempo, se les efectúe un adecuado mantenimiento o no, la productividad de las mismas tiende a disminuir y por ende los costos de mantenimiento y reparación son cada vez mayores, hasta llegar a un momento en que estas se consideren obsoletas; por lo que su propietario deberá preparar sistemáticamente un fondo de reserva, que permita restituir oportunamente dicho equipo; por uno nuevo o por cualquier otro equipo. Es importante indicar, así mismo, que para el análisis del costo de hora-máquina que se divulgan en las diferentes publicaciones especializadas; se consideran condiciones medias o promedio de trabajo; por lo que, cada vez que se está presupuestando un proyecto de obra, será necesario estudiar con cuidado las condiciones de trabajo y hacer las correspondientes modificaciones a las tarifas; utilizando para ello la experiencia y el sentido común del ingeniero encargado de elaborar el presupuesto correspondiente.

1.2. Formulación del problema

¿Se podrá incrementar la productividad y reducir los costos aplicando cambio de broca e implementando un accesorio de voladura en la cantera Sangal, Otuzco 2019?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Incrementar la productividad y reducir los costos aplicando cambio de broca e implementando un accesorio de voladura en la cantera Sangal.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar las características abrasivas del macizo rocoso presentes en la cantera Sangal.
- Determinar el total de metros perforados y horas trabajadas durante la vida en las brocas Atlas Copco, Sandvik y Boart Longyear.
- Realizar un análisis comparativo del costo de brocas entre las marcas Atlas Copco, Sandvik y Boart Longyear.
- Determinar la productividad y costos luego de implementar el uso de un nuevo accesorio en la voladura.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

Al realizar los cálculos de productividad y costos de las 3 marcas de brocas para la perforación, además de la implementación de nuevos accesorios de voladura, se logró reducir los costos y mejorar el rendimiento de ambos procesos.

1.4.2. Hipótesis específicas

- Al realizar el muestreo y trabajo de campo se identificó las características geomecánicas que presenta el macizo rocoso de la cantera Sangal.
- Luego de terminar el cálculo correspondiente a los metros perforados de cada broca según su marca, incluyendo el total de horas trabajadas se puede elegir la que mejor rendimiento presenta.
- Al terminar el análisis comparativo de costos entre las tres marcas de brocas utilizadas, se pudo identificar la que representa un menor costo para la empresa.
- Al implementar el uso de nuevos accesorios de voladura, se identificó la mejora en la producción en comparación con los resultados obtenidos con los accesorios utilizados anteriormente.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

El presente proyecto corresponde a una investigación Experimental - Aplicada con diseño cuasi experimental, debido a que busca identificar el tipo de broca que presenta mejor rendimiento a un menor costo y la mejora en la producción al realizar la implementación de nuevos accesorios en el proceso de la voladura, que permitan la obtención de un mayor porcentaje de material óptimo. Para lo cual se aplica el uso de las 3 marcas de brocas y los diferentes tipos de accesorios de voladura realizando una medición inicial y final.

Zoila Rosa Vargas Cordero (2009), docente de la maestría en Orientación de la Universidad de Costa Rica, el tipo de investigación aplicada se centra en el análisis y solución de problemas de varias índoles de la vida real, así como también se nutre de avances científicos y se caracteriza por su interés en la aplicación de los conocimientos. Indica que el tipo de investigación Aplicada es una forma de conocer las realidades con una prueba científica; requiere obligatoriamente de un marco teórico, sobre el cual se basará para generar una solución al problema específico que se quiera resolver.

Según Palella y Martins, (2012) “El diseño experimental es aquel según el cual el investigador manipula una variable experimental no comprobada, bajo condiciones estrictamente controladas. Su objetivo es describir de qué modo y porque causa se produce o puede producirse un fenómeno. Busca predecir el futuro, elaborar pronósticos que una vez confirmados, se convierten en leyes y generalizaciones tendentes a

incrementar el cúmulo de conocimientos pedagógicos y el mejoramiento de la acción educativa” (p.86). Asimismo, es con diseño Cuasi experimental debido a que se realiza una comparación con respecto a los resultados de producción referente a los accesorios de voladura utilizados en un inicio y los resultados que se obtuvieron luego de implementar el uso de los nuevos accesorios.

2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

➤ **Población:**

Todas las canteras de caliza del distrito la Encañada.

➤ **Muestra:**

La cantera de caliza Sangal ubicada en el distrito la Encañada.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

• **Observación Directa:**

Se realizó observación directa en campo, en donde se pudo notar algunas deficiencias en los procesos de perforación y voladura que perjudicaban la producción y costos de la empresa.

• **Análisis documental:**

Se investigó antecedentes previos de trabajos de investigación relacionados a los problemas encontrados en la cantera Sangal, para lo cual se utilizó los buscadores y bibliotecas virtuales. También se recolectó información relacionada a la geología del área de estudio: carta nacional (Anexo N° 01), ubicación catastral.

• **Recolección de datos:**

Se tomó los datos de campo relacionados a las características geomecánicas del macizo rocoso presente en la cantera Sangal (utilizando libreta de campo, wincha, GPS, brújula y picota), los datos de la perforación con las 3 marcas de broca utilizadas: Atlas Copco (Anexo N° 02), Sandvik (Anexo N° 03), Boart Longyear (Anexo N° 04).

Los datos de voladura en relación al uso de un nuevo accesorio de y los resultados en la obtención de material óptimo al final del proceso.

2.4. Procedimiento

El tipo de investigación que se utilizó en este trabajo es experimental, por lo cual se realizaron mediciones de un antes y después, viendo la relación de Causa-Efecto. De esta manera se podrá determinar si al aplicar cambio de broca en el proceso de perforación y la implementación de un nuevo accesorio de voladura ayuda a incrementar la productividad y reducir los costos de la empresa.

2.4.1. Gabinete:

Inicialmente se procede a la revisión de antecedentes, estudios previos, realizados respecto al tema, en los diferentes ámbitos, tanto local, nacional como internacional, para lo cual se recurrió a los repositorios virtuales de varias universidades, así como información de la geología con ayuda del programa Geocatmin.

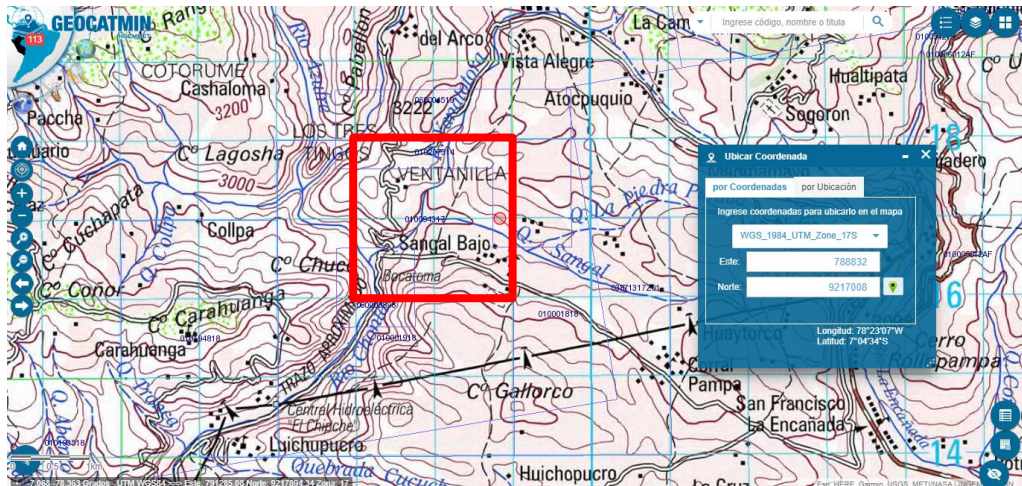


Ilustración 1: Ubicación de la concesión Sangal.

Fuente: Geocatmin.

2.4.2. Campo:

Se visitó el área donde se realiza los procesos de perforación y voladura de la cantera Sangal, cuyo propósito fue de identificar las condiciones actuales presentes en la cantera, así como también las características del macizo rocoso presente, en este trabajo de campo se utilizó las tablas de Bieniawski (RMR), este clasifica los macizos rocosos de 0 a 100 puntos, siendo 0 para roca muy mala y 100 para roca muy buena. Para calcular en el RMR se tiene en cuenta la valoración de los siguientes parámetros: Resistencia a la compresión uniaxial de la roca intacta (Anexo N° 05). Además del índice de calidad de la roca (RQD), espaciamiento de discontinuidades, condición de discontinuidades (persistencia, apertura, rugosidad, relleno y alteración), la presencia de agua subterránea y orientación de discontinuidades (Anexo N°06). Posterior al levantamiento de información requerido sirvió para cumplir con los objetivos planteados.

Tabla 1:

Clasificación de la calidad de la roca

Calidad	RMR	Clase
Muy buena	81-100	I
Buena	61-80	II
Regular	41-60	III
Mala	21-40	IV
Muy mala	0-20	V

Fuente: Engineering Rock Mass classifications.



Ilustración 2: Macizo rocoso de la cantera Sangal.

Fuente: Elaboración propia.

2.4.3. Gabinete:

Se procesaron y tabularon de forma digital los datos obtenidos en campo, con ayuda del programa Excel, así mismo se elaboraron cuadros comparativos de costos y gráficos de los análisis de los resultados.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Ubicación de la cantera Sangal:

Está ubicada en el distrito la Encañada – Cajamarca incluida dentro de la carta nacional San Marcos 15-G, en el catastro minero se encuentra dentro de la siguiente cuadrícula:

COORDENADAS UTM DEL PETITORIO – WGS84		
VERTICES	NORTE	ESTE
1	9 218 000.00	789 000.00
2	9 216 000.00	789 000.00
3	9 216 000.00	787 000.00
4	9 218 000.00	787 000.00

Ilustración 3: Coordenadas UTM concesión Sangal. Fuente: Sidemcat.

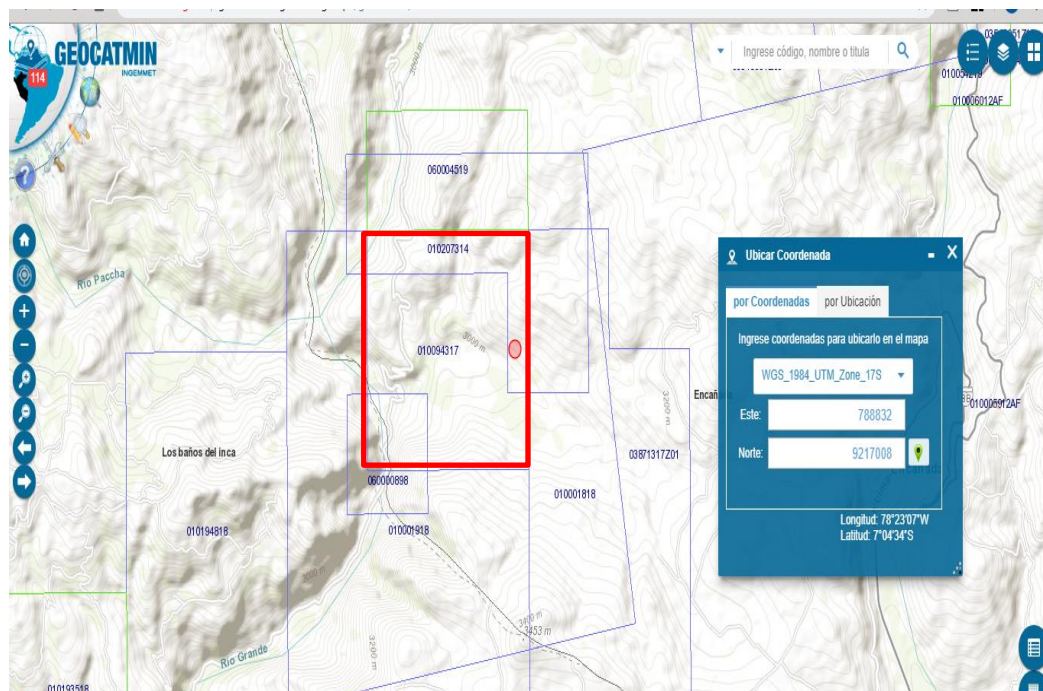


Ilustración 4: Ubicación de la concesión Sangal. Fuente: Geocatmin.

3.2. Clasificación Geomecánica del macizo rocoso:

A continuación, se presenta el plano topográfico y los resultados de las características del macizo rocoso presente en la cantera Sangal, la cual se encuentra dentro de la formación Cajamarca.

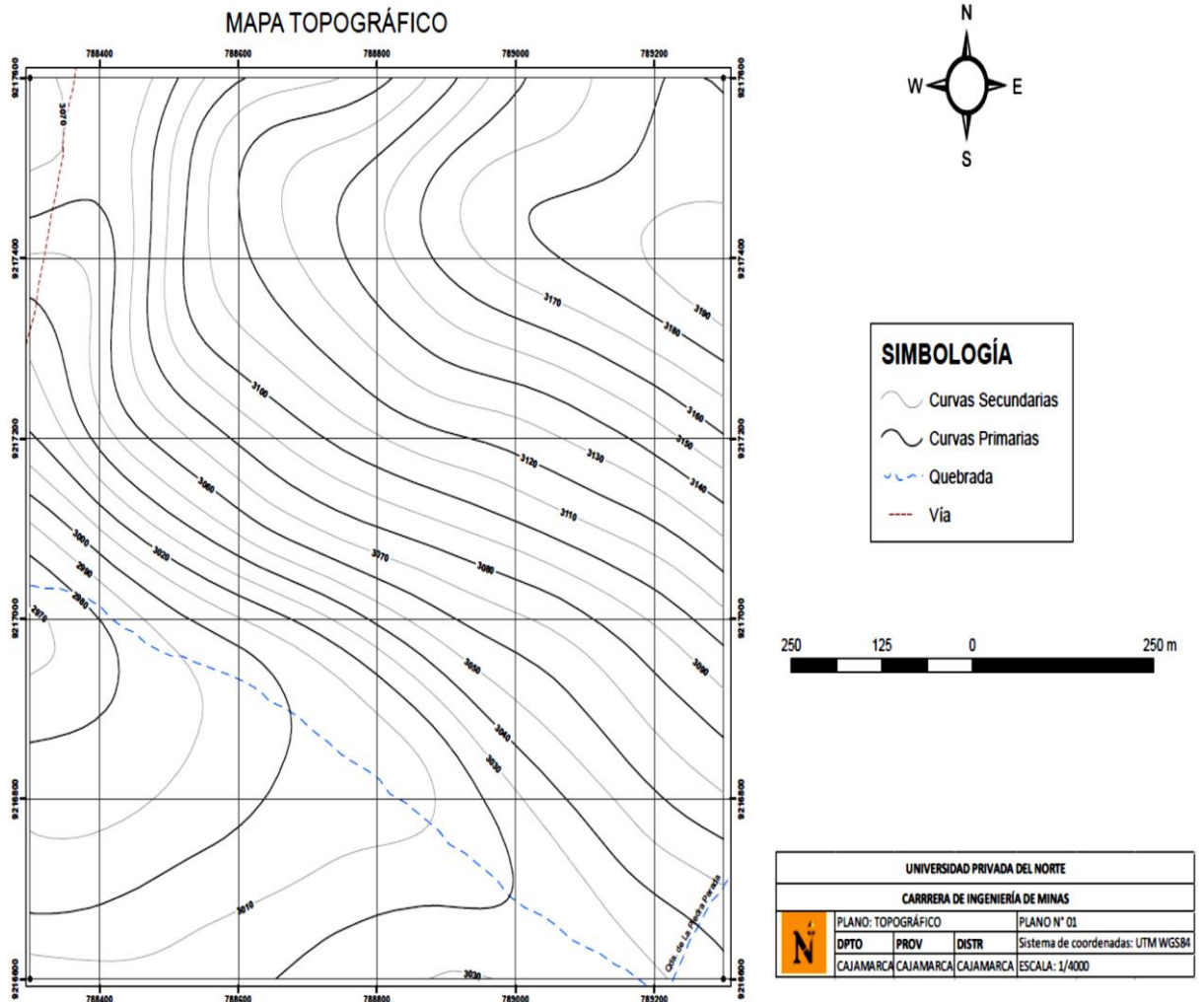


Ilustración 5: Mapa Topográfico de la cantera Sangal.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2: Caracterización geo mecánica

PUNTO DE MAPEO	RESISTENCIA A LA COMPRESION	RQD	ESPACIAMIENTO ENTRE DISCONTINUIDADES	CONDICIONES DE LAS DISCONTINUIDADES					AGUA SUBTERRANEA	ORIENTACIÓN DE DISCONTINUIDAD ES (TALUDES)	RMR BASICO	RMR AJUSTADO	CATEGORIA
				PERSISTENCIA	APERTURA	RUGOSIDAD	RELLENO	ALTERACION					
1	12	20	20	2	0	3	6	3	7	-25	73	48	III(REGULAR)
2	12	20	20	2	0	3	6	3	7	-25	73	48	III(REGULAR)
3	15	20	20	2	1	3	6	3	7	-25	75	52	III(REGULAR)
4	15	20	20	2	1	3	6	3	7	-25	75	52	III(REGULAR)
5	12	20	20	2	0	3	6	3	7	-25	73	48	III(REGULAR)

Fuente: Elaboración propia.

El ajuste por orientación de las discontinuidades se consideró “regular” debido a que el corte presente cuenta con una dirección en contra del buzamiento teniendo por valores de las discontinuidades de Buzamiento: valor promedio de 62° y Dirección del buzamiento: S36 W. La orientación de la cara del corte es SW a NE.

Luego de realizar los análisis de campo y la clasificación según las tablas de con el criterio de Bieniawski (RMR), se determinó que el macizo rocoso presente en la cantera Sangal es de tipo III (roca regular).

3.3. Resultados de la comparación de Brocas en la perforación:

Se realizó un análisis comparativo del rendimiento, tiempo de vida útil y costo de 3 brocas pertenecientes a las marcas Atlas Copco, Sandvik y Boart Longyear. Esto con la finalidad de identificar la que muestra mayor rendimiento a un menor costo para la empresa.

Tabla 3:

Datos de la broca Atlas Copco

DATOS DE LA BROCA ATLAS COPCO							
Fecha	Turno	Horómetro		Horas	Taladros	Prof. Promedio	Prof. Total
		Inicial	Final	Trabajadas			
01/07/2019	D N	1,275.60	1,283.60	8.00	25.00	6.60	165.00
02/07/2019	D N	1,283.60	1,291.00	7.40	20.00	6.60	132.00
03/07/2019	D N	1,291.00	1,298.00	7.00	18.00	6.60	118.80
04/07/2019	D N	1,298.00	1,306.00	8.00	24.00	6.60	158.40
05/07/2019	D N	1,306.00	1,311.50	5.50	10.00	6.60	66.00
06/07/2019	D N	1,311.50	1,317.50	6.00	8.00	6.60	52.80
07/07/2019	D N			LIMPIEZA			
08/07/2019	D N	1,317.50	1,323.30	5.80	19.00	6.60	125.40
09/07/2019	D	1,323.30	1,329.40	6.10	18.00	6.60	118.80

Fuente: Datos de Perforación

Tabla 4:

Operatividad de la broca Atlas Copco

OPERATIVIDAD TOTAL DE LA BROCA ATLAS COPCO	
TOTAL HORAS TRABAJADAS (h)	53.80
PROFUNDIDAD TOTAL (m)	937.20

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5:

Datos de la broca Sandvik

DATOS DE LA BROCA SANDVICK							
Fecha	Turno	Horómetro		Horas	Taladros	Prof. Promedio	Prof. Total
		Inicial	Final	Trabajadas			
10/07/2019	D N	1,329.40	1,337.40	8.00	25.00	6.60	165.00
11/07/2019	D N	1,337.40	1,345.40	8.00	24.00	6.60	158.40
12/07/2019	D N	1,345.40	1,352.90	7.50	20.00	6.60	132.00
13/07/2019	D N	1,352.90	1,352.90	-			-
14/07/2019	D N				LIMPIEZA		
15/07/2019	D N	1,352.90	1,360.90	8.00	20.00	6.60	132.00
16/07/2019	D N	1,360.90	1,367.90	7.00	24.00	6.60	158.40
17/07/2019	D N	1,367.90	1,370.90	3.00	8.00	6.60	52.80
18/07/2019	D N	1,370.90	1,378.90	8.00	29.00	6.60	191.40
19/07/2019	D N	1,378.90	1,378.90	3.00	10.00	6.60	66.00

Fuente: Datos de Perforación

Tabla 6:

Operatividad de la broca Sandvik

OPERATIVIDAD TOTAL DE LA BROCA SANDVICK	
TOTAL HORAS TRABAJADAS (h)	52.50
PROFUNDIDAD TOTAL (m)	1,056.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7:

Datos de la broca Boart Longyear

DATOS DE LA BROCA BOART LONGYEAR							
Fecha	Turno	Horómetro		Horas	Taladros	Prof.	Prof.
		Inicial	Final	Trabajadas		Promedio	Total
20/07/2019	D	1,387.90	1,387.90	-	-	-	-
	N						
21/07/2019	D				LIMPIEZA		
	N						
22/07/2019	D	1,387.90	1,395.90	8.00	32.00	6.60	211.20
	N						
23/07/2019	D	1,395.90	1,403.40	7.50	26.00	6.60	171.60
	N						
24/07/2019	D	1,403.40	1,411.60	8.20	35.00	6.60	231.00
	N						
25/07/2019	D	1,411.60	1,419.60	8.00	35.00	6.60	231.00
	N						
26/07/2019	D	1,419.60	1,428.60	9.00	40.00	6.60	264.00
	N						
27/07/2019	D	1,428.60	1,434.60	6.00	17.00	6.60	112.20
	N						
28/07/2019	D				LIMPIEZA		
	N						
29/07/2019	D	1,434.60	1,443.60	9.00	36.00	6.60	237.60
	N						
30/07/2019	D	1,443.60	1,452.60	9.00	34.00	6.60	224.40
	N						
31/07/2019	D	1,452.60	1,459.60	8.00	32.00	6.60	211.20

Fuente: Datos de Perforación

Tabla 8:

Operatividad de la broca Boart Longyear

OPERATIVIDAD TOTAL DE LA BROCA BOART LONGYEAR	
TOTAL HORAS TRABAJADAS (h)	72.70
PROFUNDIDAD TOTAL (m)	1,894.20

Fuente: Elaboración propia.

Al realizar un análisis comparativo de los datos obtenidos en campo con respecto a las 3 marcas de brocas utilizadas se obtuvo los siguientes resultados.

Tabla 9:

Comparación de rendimiento de las brocas

	HORAS TRABAJADAS	METROS PERFORADOS
B. ATLAS COPCO	53.80	937.20
B. SANDVIK	52.50	1,056.00
B. BOART LONGYEAR	72.70	1,894.20

Fuente: Elaboración propia.

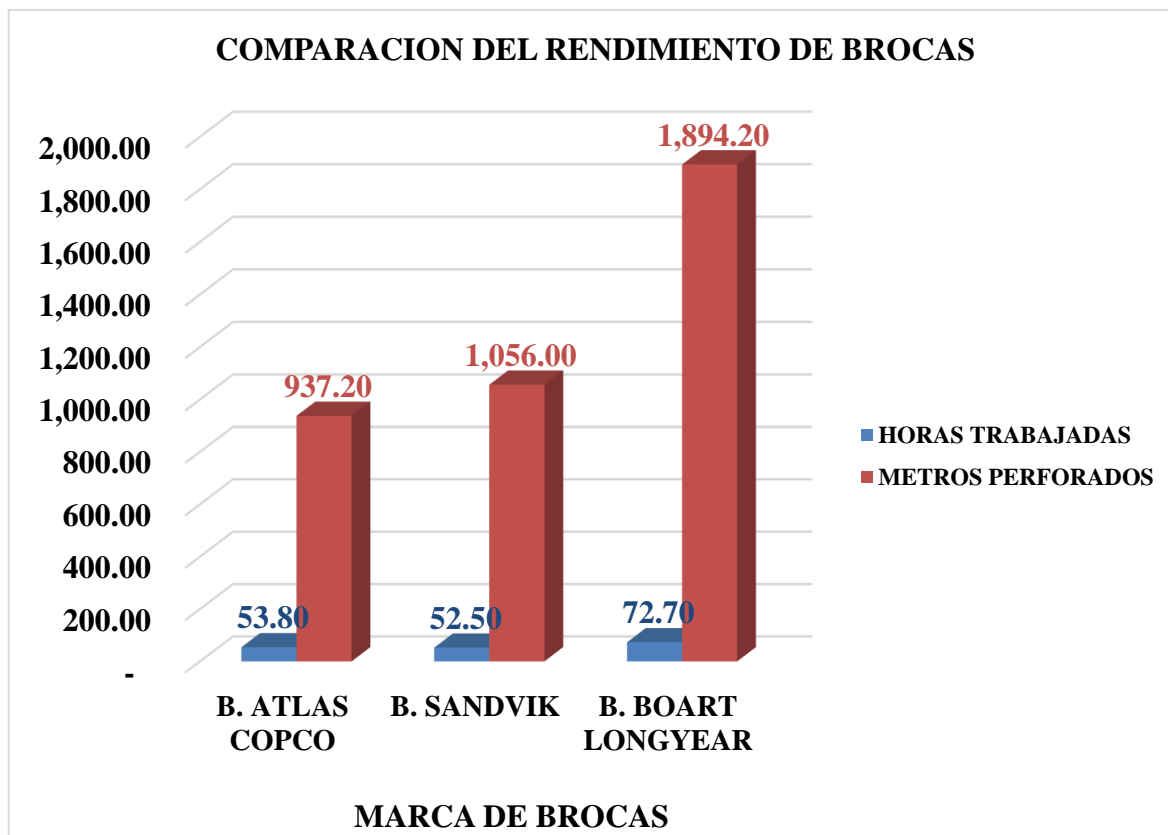


Ilustración 6: Comparación de rendimiento de brocas.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10:

Rendimiento total de las 3 marcas de brocas

MARCA DE BROCAS	HORAS TRABAJADAS	METROS PERFORADOS	VELOCIDAD ESTIMADA (CALIZA)	VELOCIDAD CALCULADA m/min.	VELOCIDAD CALCULADA m/hr.
BROCA ATLAS COPCO	53.80	937.20	1.8 m/min.	0.29	17.4
BROCA SANDVIK	52.50	1,056.00	1.8 m/min.	0.34	20.4
BROCA BOART LONGYEAR	72.70	1,894.20	1.8 m/min.	0.43	25.8

Fuente: Datos de Perforación

Luego de realizar la comparación de los datos de campo de perforación que se obtuvieron al utilizar las 3 marcas de brocas, se realizó un análisis comparativo de costos dando como resultado que el costo y rendimiento más óptimo es el de la broca Boart Longyear.

Tabla 11:

Análisis comparativo del costo de las brocas

COSTO DE LAS BROCAS			
MARCA DE LA BROCA	COSTO	IGV(\$)	COSTO TOTAL (\$)
Atlas Copco	325	58.5	383.5
Sandvik	343	61.74	404.74
Boart Longyear	301	54.18	355.18

Fuente: Elaboración propia.

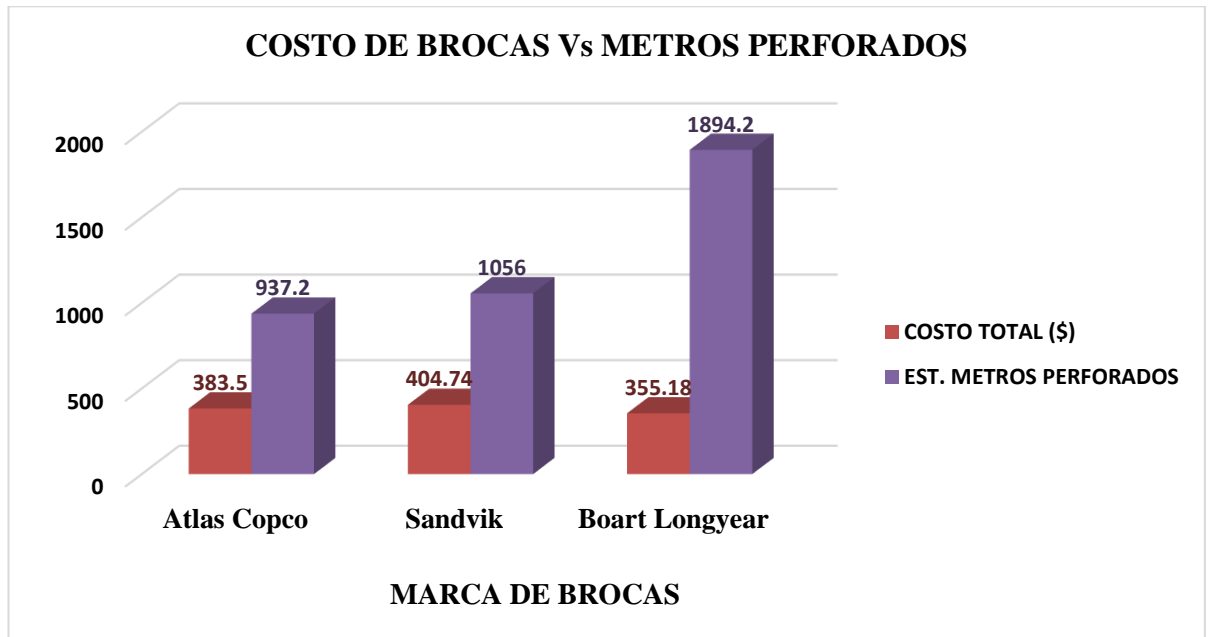


Ilustración 7: Análisis de costo Vs metros perforados de las brocas.

Fuente: Elaboración propia.

En la ilustración N° 02 se observa el rendimiento de las 3 marcas de brocas con respecto a los metros perforados, más el costo que requiere adquirir cada una de ellas, siendo la broca Boart Longyear la que tuvo mayor cantidad de metros perforados a un menor costo.

3.4. Resultados de la implementación de un nuevo accesorio de voladura en producción y costos:

A continuación, se presenta los datos tomados antes de realizar la implementación del nuevo accesorio de voladura, para luego realizar el análisis comparativo de producción y costos.

Tabla 12:

Parámetros de la malla de perforación

MALLA PARA ROCK DRILL ROCA FIJA				
TIPO DE ROCA		CALIZA	CALIZA	CALIZA
Diámetro del taladro(mm)	Ø	3.50	3.50	3.50
Densidad de la roca(gr/cc)	Dr	2.20	2.20	2.20
Densidad del explosivo (Kg/cc) (Emulsión)	De	0.85	0.85	0.85
Altura de banco (mts.)	H	6.00	6.00	6.00
Burden (mts.)	B	$B = 3.15 \times \text{Ø} \times (\text{De}/\text{Dr})^{1/3}$	2.45	2.45
Espaciamiento (mts.)	E	$E = 1.15 \times B$	2.81	2.81
Sobroperforacion (mts.)	Sp	$\text{Sp} = 0.30 \times B$	0.73	0.73
Taco (mts)	T	$T = 0.7 \times B$	2.45	2.45
Profundidad de taladro (mts.)	L	$L = \text{Sp} + H$	6.73	6.73
Perforación Especifica	Pe	$(L/H)/B \times E$	1.29	1.29
Carga de Fondo Kg/m	Cf	$\text{Cf} = 1,3 \times B$	3.18	3.18
Volumen por taladro volado (m ³)	Vt	$\text{Vt} = B \times E \times H$	46.39	46.39
Longitud de Carga (mts.)	Lc	$\text{Lc} = H - T$	4.29	4.29
Densidad de carga (Kg/mts.)	Dc	$\text{Dc} = (0.0005066 \times (\text{Ø})^2 \times (\text{De} \times 1000))$	5.27	5.27
Peso de Carga de explosivo por taladro (Kg.)	Ce	$\text{Ce} = \text{Lc} \times \text{Dc}$	22.61	22.61
Factor de Rigidez	Fr	$\text{Fr} = E/L$	2.75	2.75
Factor de potencia (Kg/m ³)	Fp	$\text{Fp} = \text{Ce} / \text{VR}$	0.49	0.49

Fuente: Área de perforación.

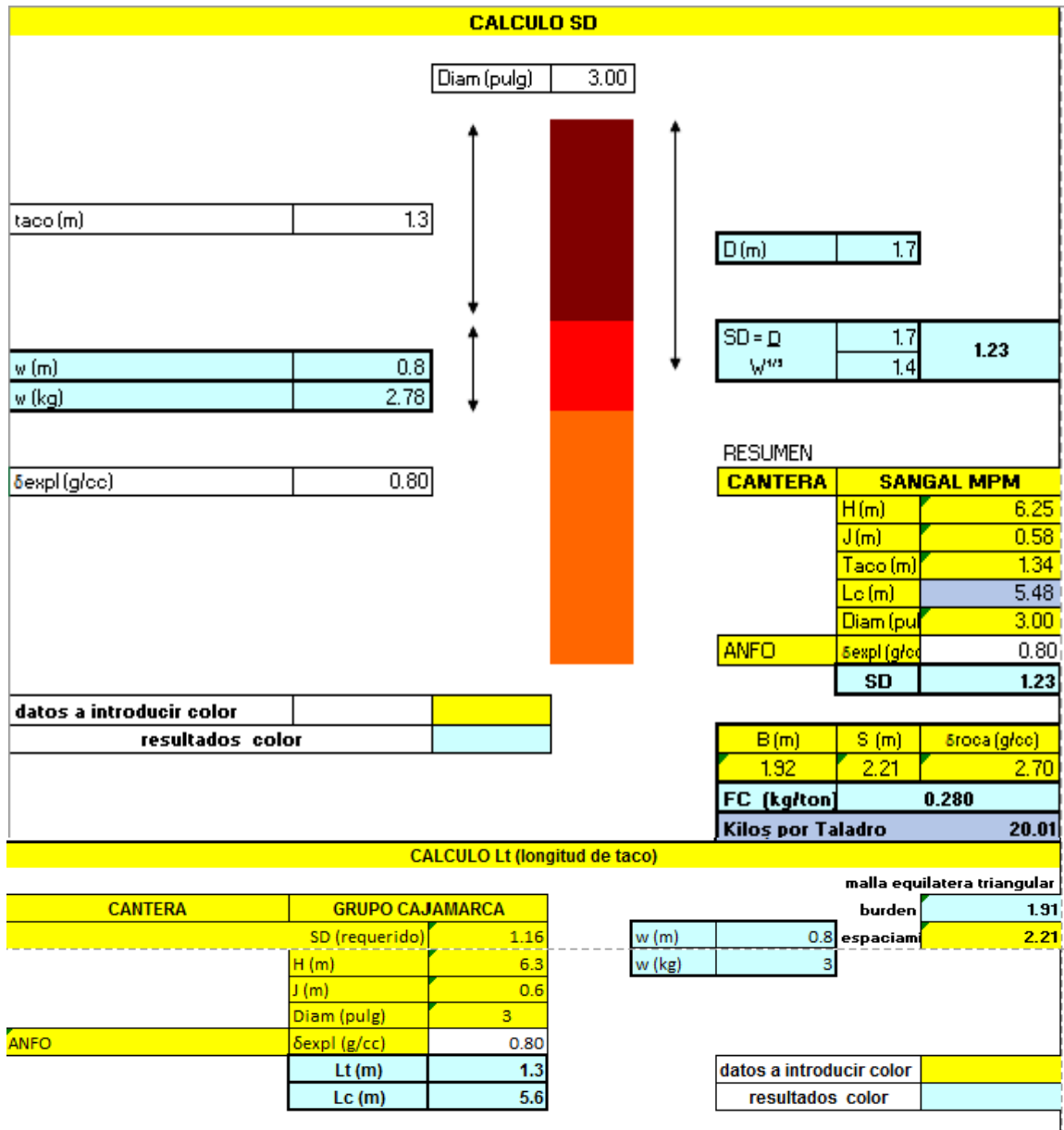


Ilustración 8: Especificaciones del taladro.

Fuente: Área de perforación.

Tabla 13:

Accesorios de voladura

INDICE DE CONSUMO DE EXPLOSIVO		CNT.	Und.	PRECIO	PRECIO Kg /Und/Mts	PIEZAS	PRECIO EN SOLES
Dinamita SG 65 7/8x7"	Kg/m3	25.00	Kg	100.0000	4.0000	312	13.4400
Emulnor 3000 1 x 7	Kg/m4	25.00	Kg	65.00	2.6000	144	8.7360
Emulfan 300 3x16"	Kg/m3	25.00	Kg	65.00	2.6000	26	8.7360
Superfam Dos	Kg/m3	25.00	Kg	20.50	0.8200		2.7552
Cordón Detonante 3P	m/m3	1,500.00	Mts	330.00	0.2200		0.7392
Cordón Detonante 5P	m/m3	1,500.00	Mts	375.00	0.2500		0.8400
Retardo Fanel (MS conector)	Pza/m3	50.00	Und.	125.00	2.5000		8.4000
Mecha de seguridad	m/m3	1,000.00	Mts	200.00	0.2000		0.6720
Fulminante Nro. 08	Pza/m3	100.00	Und.	20.00	0.2000		0.6720
Booster HDP-3	Pza/m3	120.00	Und.	185.00	1.5417		5.1800
Fanel Dual 8.0 m - 500 ms	Pza/m3	80.00	Und.	270.00	3.3750		11.3400

Fuente: Área de voladura.

En un inicio se realizó la voladura ubicando el cordón detonante más la dinamita dentro del taladro, con lo cual se observaron porcentajes de material optimo que no eran rentables, por ello se implementó el uso de accesorio de voladura Nonel mas buster, con los cuales se obtuvieron resultados satisfactorios.

Tabla 14:

Producción Cordón detonante Vs Nonel

	CORDON	NONEL
MATERIAL BUENO	30%	85%
BOLONERIA	70%	15%

Fuente: Área de Voladura

Al realizar la comparación del material obtenido utilizando diferentes accesorios en el taladro, se puede notar un 50% de diferencia en relación al material óptimo que se obtiene.

Tabla 15:

Costo cordón detonante Vs Nonel

	CORDON	NONEL
Gasto x Taladro	8.2	11
Volumen x Taladro	46.4	46.4
Precio x Taladro	0.17	0.23
Tipo de Cambio	3.36	3.36
S/. / m3	0.59	0.80
Total soles	106.88	143.38
Excavadora (S/. / h)	252.00	0.00
Precio total (S/.)	400.51	195.68

Fuente: Área de voladura

El costo del accesorio nonel es mayor al del cordón detonante, pero obtiene 50% más de material óptimo en comparación con el accesorio antes mencionado, además este al obtener 70% de bolonería requiere el uso de una excavadora para reducir el tamaño del material fragmentado, su uso implica un costo adicional (75\$/h) aumentando los costos en la voladura.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

Los resultados con respecto a las brocas nos muestran que al realizar la perforación con la marca Boart Longyear obtenemos mejores resultados, ya que en comparación con Atlas Copco aumenta en 957 la cantidad de metros perforados y comparándola con la marca Sandvik aumenta en 838 m. Lo cual nos demuestra que si trabajamos con la broca de marca Boart Longyear obtendremos un mejor avance en la producción de taladros.

El acero de la broca Boart Longyear y el diseño hace que tenga un mejor rendimiento en relación a los metros perforados ya que se muestra más resistente al contacto con el macizo rocoso, lo cual concuerda con lo dicho por Wilson (2013), indica que el rendimiento de una broca se ve afectado por varias características de la formación rocosa incluyendo su resistencia.

Los costos también se analizaron, por lo que se pudo identificar que el costo de la broca Boart Longyear es \$28.32 y \$49.56 menos que las de Atlas Copco y Sandvik respectivamente.

En el proceso de voladura se tenía problemas al utilizar cordón detonante dentro del taladro, lo cual nos permitía obtener solo un 30% de material óptimo. Al implementar el accesorio Nonel dentro del taladro se pudo notar mejores resultados aumentando de un 30% a un 85% el material óptimo.

Los datos obtenidos en la voladura en relación al material óptimo en un inicio comprueban lo descrito por Mamani (2016), en la construcción de accesos carreteras, minas a tajo abierto, voladura en canteras, construcción de represas y todo tipo de trabajos donde se realice voladura de rocas, es necesario realizar un estudio que abarque variables las cuales puedan ayudarnos a la toma de decisiones, como el explosivo óptimo, y el tiempo de operación de minado. Debido a que no se realizaron los estudios previos del macizo rocoso antes de determinar los accesorios de voladura se tuvo una producción deficiente que perjudicaba económicamente a la empresa ya que el 70% de bolonería tenía que pasar por un sub-proceso que requería el uso de una excavadora que generaba un costo adicional.

Con el uso del cordón detonante solo aprovechaba 6 Kg. De Anfo de los 10Kg. Que se utilizaban por cada taladro, con el Nonel se aprovechaba los 10 Kg. Esto ocurría porque el accesorio no era el adecuado para el tipo de roca presente en la cantera Sangal.

4.2 Conclusiones

- Se logró incrementar la productividad de los procesos de perforación y voladura ya que se aumentó en promedio 850 la cantidad de metros perforados, se mejoró el porcentaje de material óptimo en un 50 % y se logró reducir costos debido a que la broca seleccionada tiene un menor precio en el mercado, además de que en la voladura el accesorio que se implementó produce material de buena calidad y no es necesario realizar subprocesos que demandan un costo adicional.
- Se logró determinar las características geomecánicas del macizo rocoso presente en la cantera Sangal, identificando presencia de roca regular tipo III.
- Se calculó el total de metros perforados y horas trabajadas de las 3 brocas utilizadas: Atlas Copco (937.2 m – 53.80 h), Sandvik (1056 m – 52.50 h) y Boart Longyear (1894.2 m – 72.70 h) esta es la que mejor avance y durabilidad presenta.
- Se realizó la comparación de los costos de las 3 marcas de brocas incluyendo el IGV: Atlas Copco \$ 383.5, Sandvik \$ 404.74 y Boart Longyear \$ 355.18; siendo la última la de menor costo.
- Se mejoró en un 50 % la cantidad de material óptimo al implementar el Nonel como nuevo accesorio de voladura dentro del taladro, además de eliminar el subproceso que se realizaba para disminuir el tamaño de la bolonería que se obtenía al inicio, lo cual generaba costos adicionales a la empresa.

REFERENCIAS

Carta Nacional- Formación Cajamarca, recuperado de :

https://geocatminapp.ingemmet.gob.pe/complementos/Descargas/Mapas/publicaciones/serie_a/mapas/indice.htm

Carhuavilca, C. (2010). *Elementos para Determinación del Costo Horario de los Equipos y Maquinas del Sector Construcción*. Exposición Sobre Los Alcances de la Norma Técnica. Perú.

Jáuregui, O. (2009). *Reducción de Costos Operativos en Mina, Mediante la Optimización de las Operaciones Unitarias de Perforación y Voladura*. (tesis pregrado). Pontificia Universidad Católica. Lima, Perú.

Mamani, I. (2016). *Análisis y optimización de costos de perforación y voladura en la construcción del canal San Antonio de Miña*. (tesis pregrado). Universidad nacional del Altiplano. Puno, Perú.

Ordoñez, C. (2011). *Costos de Perforación y Voladura de Rocas*. Cámara Minera del Perú
Diplomado de Gestión de Costos en Minería. Cámara Minera de Perú.

Palella, S. & Martins, F. (2012). *Metodología de la investigación cuantitativa*, Florencia, Venezuela. Recuperado de <https://www.docsity.com/es/disenho-tipo-nivel-y-modalidad-de-palella-y-martins/2733947/>

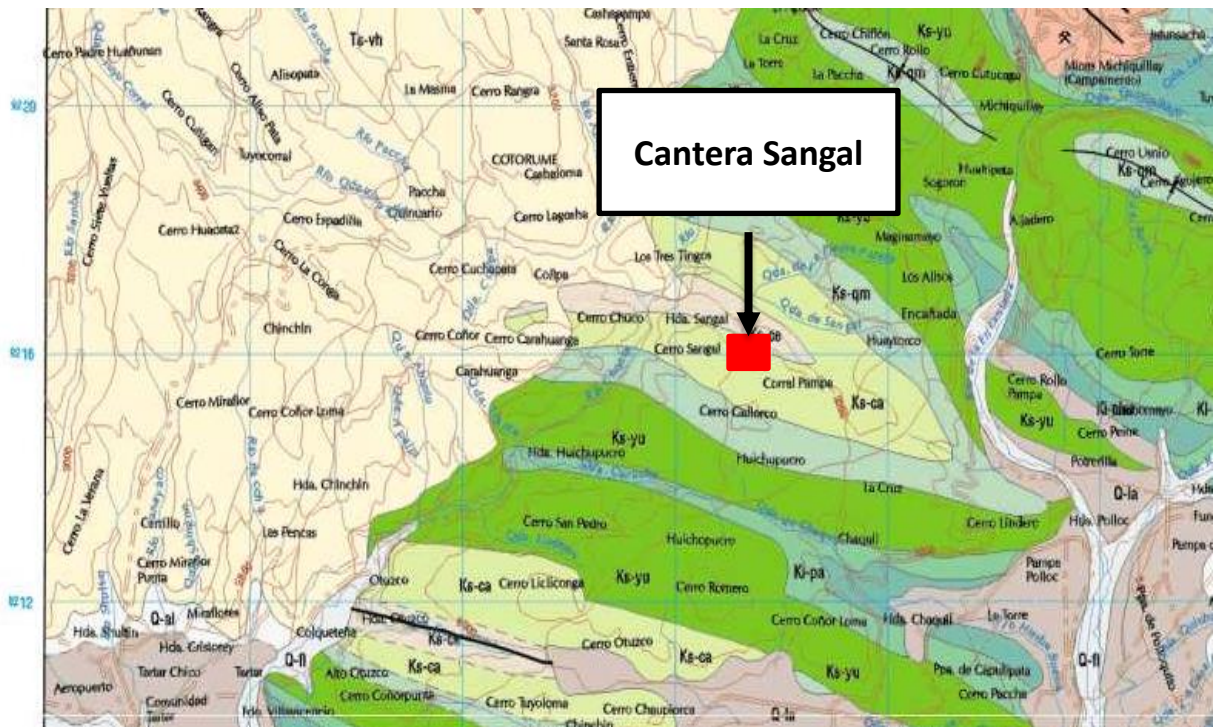
Vargas, R. (2009). *La Investigación aplicada: una forma de conocer las realidades con evidencia científica*. Vol. (33), p.161.

Villero, C. D. (2009). *Diseño del esquema de Perforación y Voladura para el mejoramiento de la fragmentación de la Caliza en el frente uno de explotación de Argos Planta Tolcemento*. (tesis pregrado). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Bogotá, Colombia.

Wilson, C. (2013). *Estudio de comparación entre rendimientos en brocas de 12 ¼" en yacimientos skarn a tajo abierto para selección óptima*. (tesis pregrado). Universidad nacional de San Agustín. Arequipa, Perú.

ANEXOS

ANEXO N° 01: Ubicación dentro de la Carta Nacional – Formación Cajamarca.



Fuente: INGEMMET

ANEXO N° 02: Foto de la Broca Atlas Copco



Fuente: Atlas Copco

ANEXO N° 03: Foto de la broca Sandvik



Fuente: Sandvik

ANEXO N°04: Foto de la broca Boart Longyear



Fuente: Boart Longyear

ANEXO N°05: Tabla de estimaciones de campo de la resistencia a la compresión uniaxial.

Grado	Termino	Resistencia a la compresión uniaxial	Índice de carga puntual(MPa)	Estimación en campo de la resistencia
R6	Extremadamente resistente	>250	>10	El espécimen puede ser picado únicamente con martillo geológico
R5	Muy resistente	100-250	4-10	El espécimen requiere algunos golpes de martillo geológico para ser fracturado.
R4	Resistente	50-100	2-4	El espécimen requiere más de un golpe de martillo geológico para ser fracturado.
R3	Medianamente resistente	25-50	1-2	El espécimen no puede ser raspado o mondado con una navaja de bolsillo, pudiendo ser fracturado con un simple golpe de martillo.
R2	Débil	5-25		Puede ser mondado con dificultad con una navaja de bolsillo, un rasgo superficial puede ser hecho con un firme golpe del martillo.
R1	Muy débil	1-5		El espécimen se desmenuza bajo la acción de firmes golpes de martillo geológico y puede ser mondado por una navaja de bolsillo.
R0	Extremadamente débil	0,25-1		Hendida por la uña

Fuente: Compresión Uniaxial – Hoke

ANEXO N° 06: Tabla de clasificación geomecánica RMR

A. Parámetros de clasificación con sus valores									
Parámetros			Rango de valores						
1	Resistencia de la roca intacta	Carga puntual	>10 Mpa	4 - 10 Mpa	2-4 Mpa	1 - 2 Mpa	Se requiere pruebas de compr. Uniaxil		
		Resist Comp Uniax	>250MPa	100 - 250 Mpa	50-100 Mpa	25 - 50 Mpa	5-25 Mpa	1 - 5 Mpa	< 1 Mpa
	Puntaje	15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD	90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25			
	Índice	20	17	13	8	3			
3	Espaciado de las discontinuidades		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm		
	Puntaje		20	15	10	8	5		
4	Condición de discontinuidades		Superficies muy rugosas No continuas sin separación Paredes de rocas sin alteración.	Superficies ligeramente rugosas separación < 1mm. Paredes de roca ligeramente meteorizadas	Superficies ligeramente rugosas Separación <1mm Paredes altamente meteorizadas	Superficies de espejo de falla o gouge <5mm de espesor o separación 1-5mm. Continua	Suave gouge >5mm de espesor o separación >5mm. Continua		
	Puntaje		30	23	20	10	0		
5	Flujo para 10 m de túnel (l/m)		Ninguno	<10	10 - 25	25 - 125	>125		
	Presión de agua en la discontinuidad / esfuerzo principal mayor		0	<0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	>0.5		
	Condiciones generales		Completamente seco	Húmedo	Mojado	Goteo	Flujo		
	Puntaje		15	10	7	4	0		
B. Guías para la clasificación según las condiciones de las discontinuidades									

Persistencia	<1 m	1 – 3 m	3 – 10 m	10 – 20 m	>20
Puntaje	6	4	2	1	0
Abertura	Ninguna	<0,1 mm	0,1–1,0mm	1-5mm	>5mm
Puntaje	6	5		1	0
Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Lig. Rugosa	Lisa	Sup. Pulidas
Puntaje	6	5	3	1	0
Relleno	Ninguno	Duro<5mm	Duro>5mm	Blando>5mm	Blando>5mm
Puntaje	6	4	2	2	0
Meteorización	Inalterada	Lig. Meteorizada 5	Mod. Meteorizada 3	Alt. Meteorizada 1	Descompuesta
Puntaje	6				0

C. Efecto de la orientación del rumbo buzamiento de las discontinuidades en los túneles

Rumbo perpendicular al eje del túnel		Rumbo paralelo al eje del túnel	
Avance en el sentido del buzamiento – Buz. 45-90°	Avance en el sentido del buzamiento – Buz. 20-45°	Buzamiento 45 – 95°	Buzamiento 20 – 45°
Muy Favorable	Favorable	Muy favorable	Regular
Avance contra el sentido del buzamiento – Buz. 45-90°	Avance contra el sentido del buzamiento – Buz. 45-90°	Buzamiento 0 – 20° independiente del rumbo	
Regular	Desfavorable	Regular	

Fuente: Clasificación Geomecánica – Bienawski.

ANEXO N° 07: RQD de los puntos tomados.

Punto	Numero de discontinuidades /1 m	RQD (%)
1	4	94
2	5	91
3	3	96
4	4	94
5	4	94
Promedio RQD =		93.8

Fuente: Datos de campo.

ANEXO N° 08: Foto de la toma de datos de Azimut de discontinuidades.



Fuente: Elaboración propia.

ANEXO N° 09: Foto de la toma de datos de Dip de discontinuidades.



Fuente: Elaboración propia.

ANEXO N° 10: Foto de la toma de datos de Dip Direction de discontinuidades



Fuente: Elaboración propia.